

Curso de Mineração - Básico

Módulo IV: Pelotização e Uso de Minério de Ferro na Siderurgia





Caro leitor,

Até o momento, você conheceu as atividades minerárias da Vale com foco no minério de ferro. Porém, sabemos que a Vale busca diversificar seu negócio, impulsionando sua capacidade de produção de outros recursos minerais, tais como o cobre e o carvão, ampliando seu portfólio.

Assim, para que você tenha uma compreensão ampla dos negócios da Vale, inauguramos um conjunto de módulos complementares, que começa pelo aprofundamento dos seus conhecimentos sobre o carvão.

Neste módulo complementar, você vai conhecer aspectos importantes sobre este recurso energético, não renovável, e de grande abundância no globo terrestre e a *commodity* mineral mais comercializada em todo mundo.

Além de ter a oportunidade de fazer uma viagem pela história do carvão, aqui, você vai entender melhor a produção do carvão no mundo, evidenciando que os níveis de reservas de carvão existentes são suficientes por mais de 200 anos.

Também vai se surpreender ao descobrir que o carvão, apesar de ser um recurso mineral, é composto por uma complexa mistura de componentes orgânicos e está presente no seu dia a dia. Como você poderá verificar essa presença? Você a conhecerá quando compreender a utilização do carvão térmico e do carvão metalúrgico.

Ainda neste módulo conhecerá as atitudes focadas em desenvolvimento sustentável através do investimento em tecnologias limpas, que têm tornado o uso do carvão cada vez mais seguro e relevante.

E ainda: nas próximas páginas, você será apresentado aos projetos de carvão da Vale em Moçambique, África (projeto Moatize), e diversos outros na Austrália. Todos esses empreendimentos representam um grande investimento na área do carvão para a Vale!

Esse módulo traz uma novidade em relação aos anteriores, as palavras do glossário estão assinaladas na primeira vez que aparecerem no texto.

Boa leitura!



Sumário

Complexo de Pelotização de Tubarão: uma história de vitórias

A história das usinas de pelotização de Vitória



Um panoramada indústria siderúrgica no mundo

As últimas mudanças ocorridas nas indústrias do aço



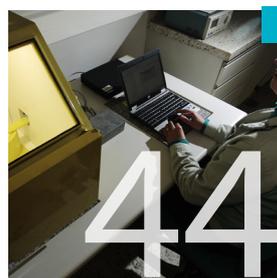
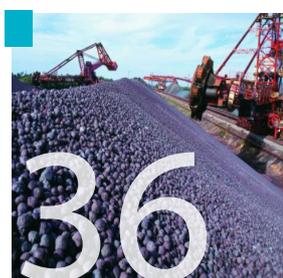
Introdução à Siderurgia

O percurso que o minério precisa fazer para se transformar em aço



Aglomerado de Minério de Ferro

Como o minério é transformado em pelotas e o que é sinterização



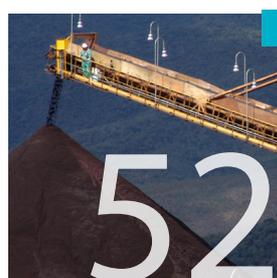
Ensaio utilizado para a avaliação de minérios de ferro

Critérios fundamentais para verificação do atendimento às especificações do cliente



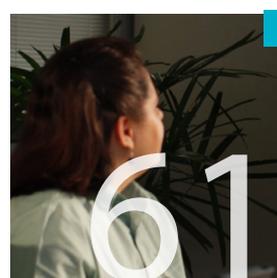
Classificação de minérios de ferro

A origem dos minérios de ferro na natureza



Sistema Vale de caracterização de minérios

Um modelo pioneiro criado pela Vale para diferenciar os minérios dos maiores países produtores



Modelo de avaliação da competitividade

O que as siderúrgicas avaliam na hora de escolher o minério de ferro

Atividades **63**

Glossário **70**

Introdução

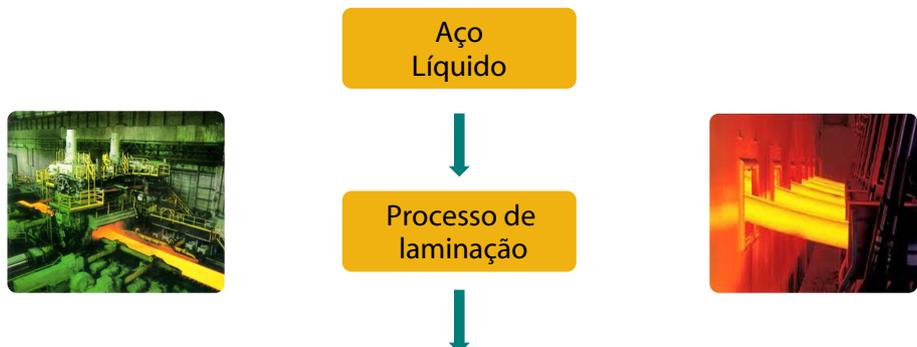
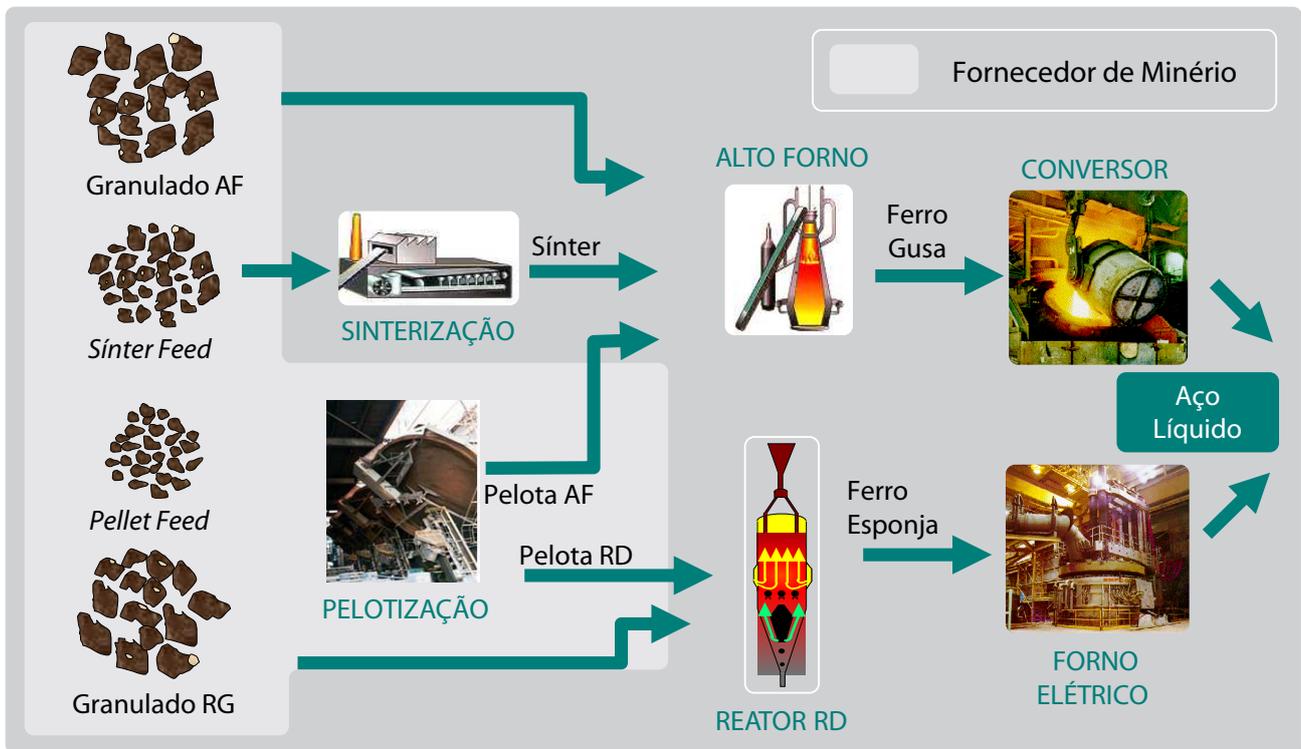
Caro Leitor,

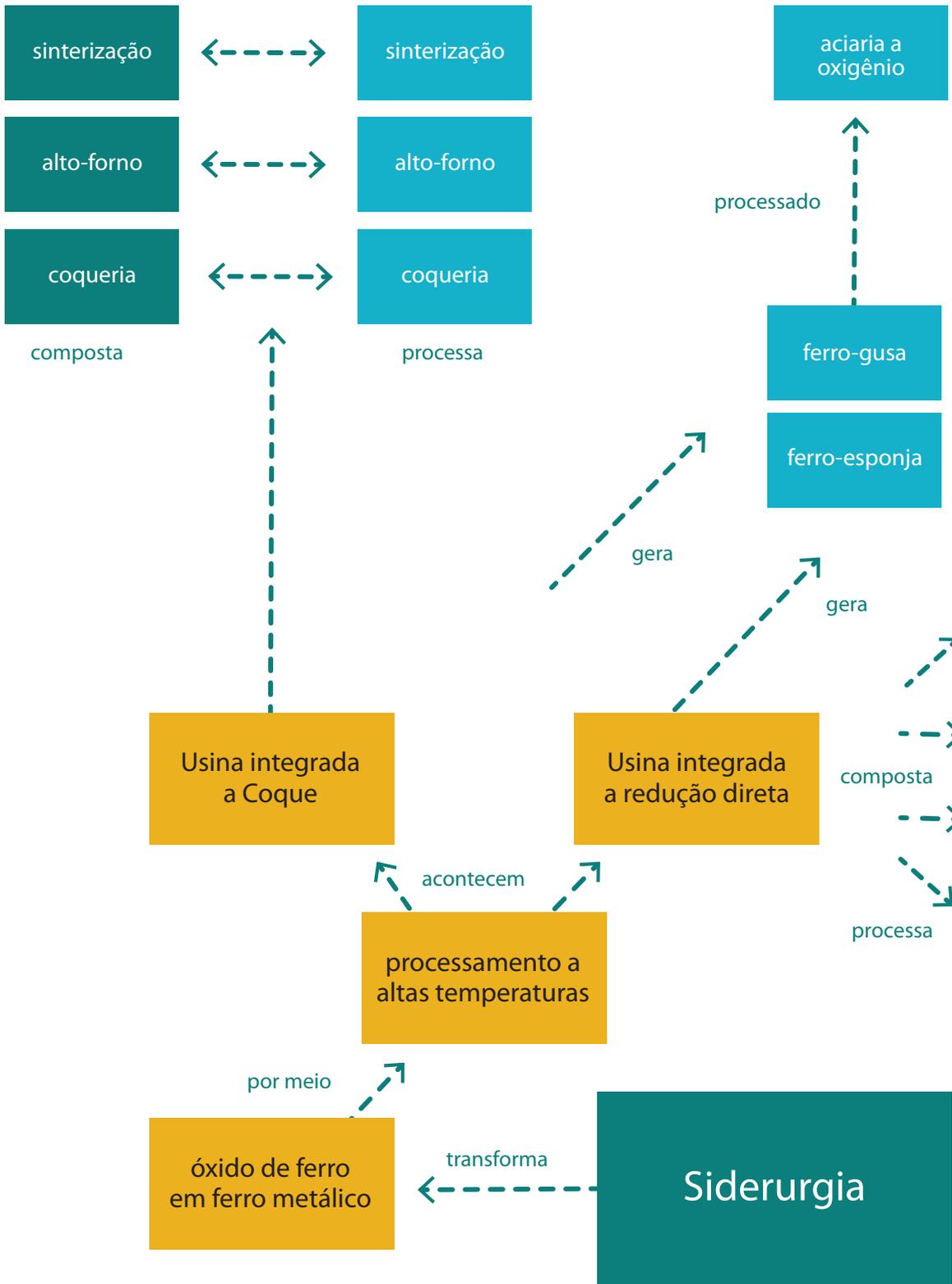
Neste quarto módulo do Curso de Mineração Básico, você continuará a viagem pelo interessante mundo dos minérios, acompanhando o passo a passo para a formação das famosas pelotas.

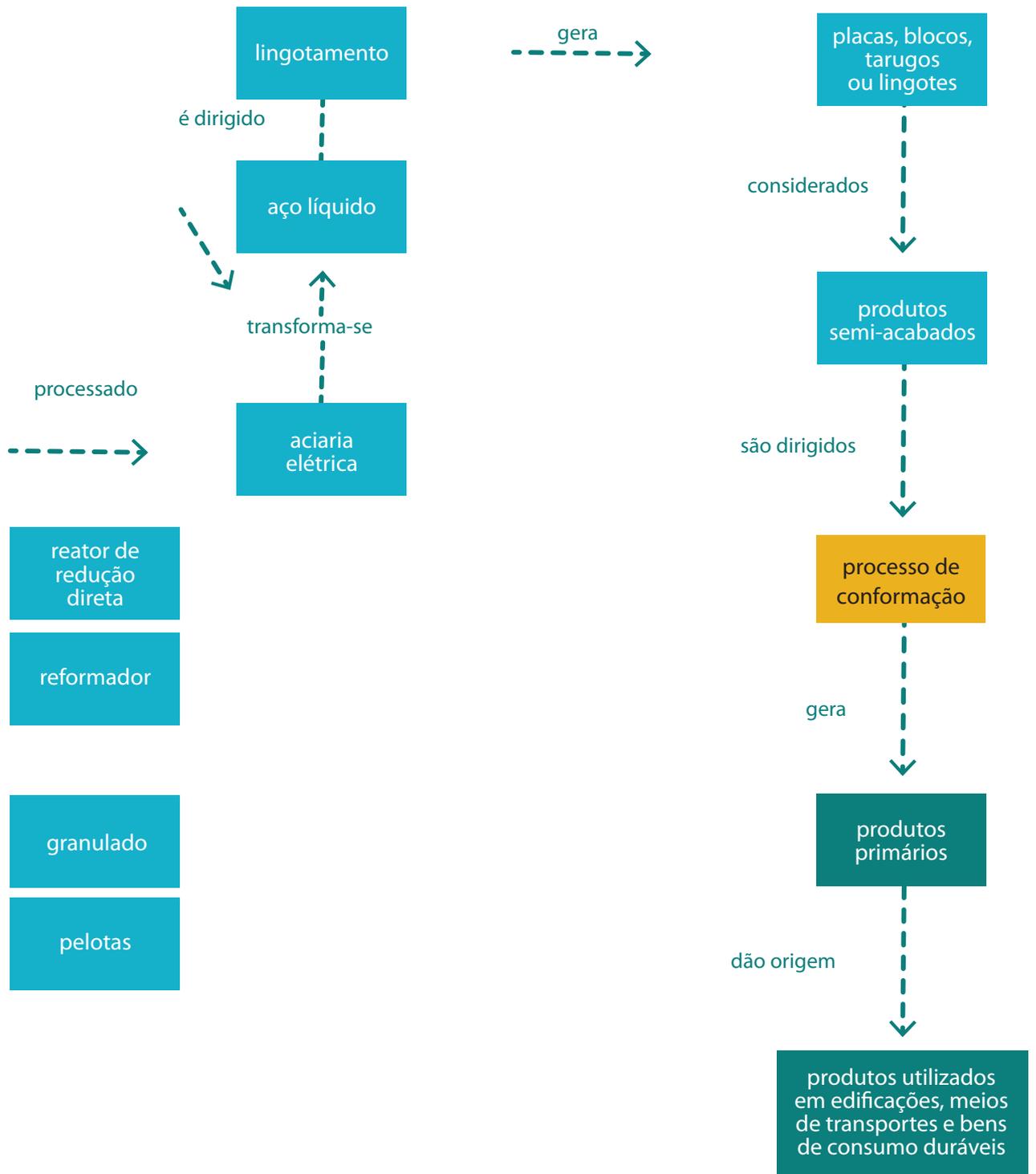
Vai ficar por dentro das últimas mudanças e das principais etapas relacionadas à fabricação do aço nas siderúrgicas – nossos clientes.

E vai entender como as características do minério de ferro influenciam nos processos de fabricação do aço.

Boa leitura!



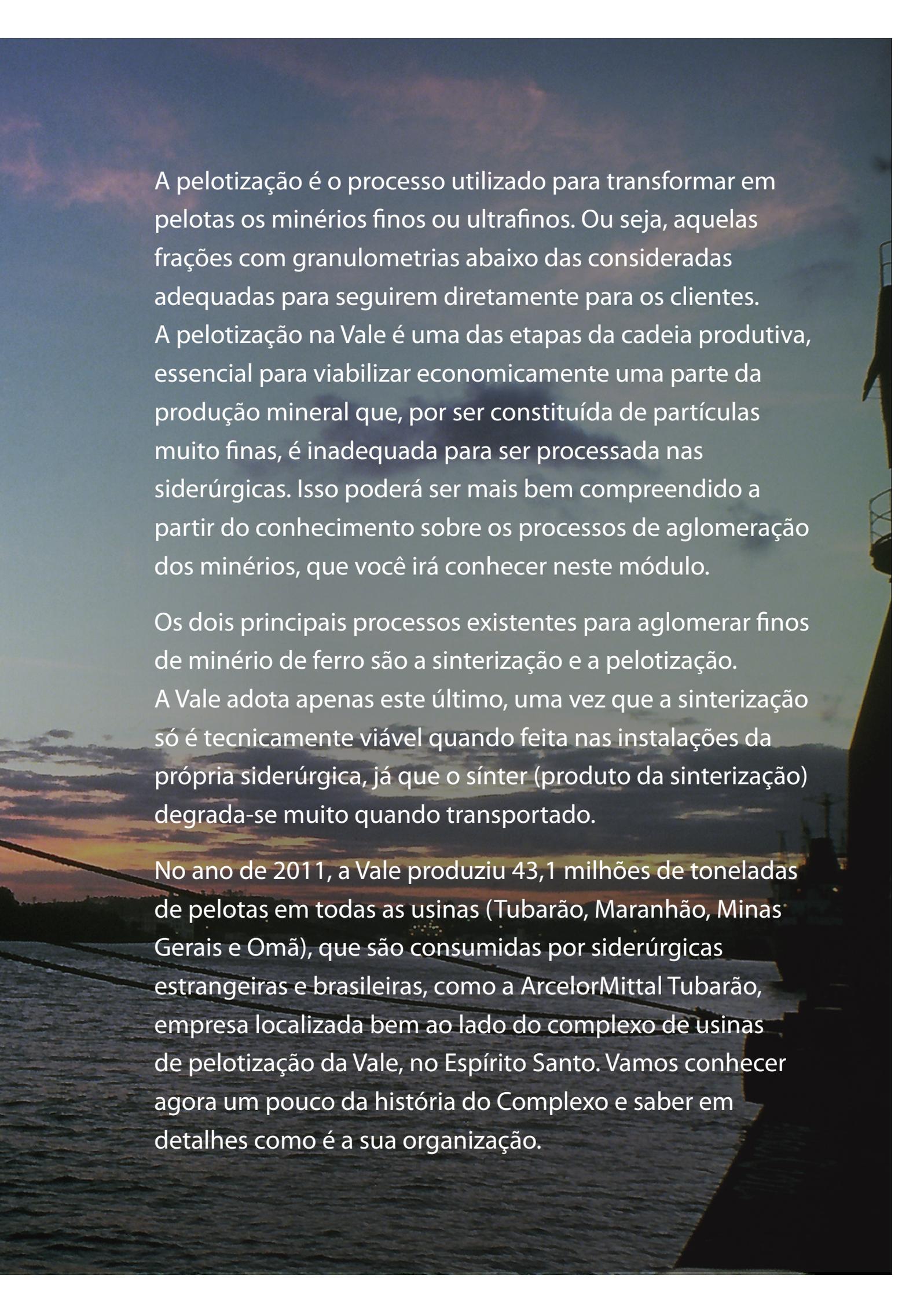




Mapa Conceitual



Complexo de
Pelotização de
Tubarão: uma
história de
vitórias



A pelletização é o processo utilizado para transformar em pelotas os minérios finos ou ultrafinos. Ou seja, aquelas frações com granulometrias abaixo das consideradas adequadas para seguirem diretamente para os clientes. A pelletização na Vale é uma das etapas da cadeia produtiva, essencial para viabilizar economicamente uma parte da produção mineral que, por ser constituída de partículas muito finas, é inadequada para ser processada nas siderúrgicas. Isso poderá ser mais bem compreendido a partir do conhecimento sobre os processos de aglomeração dos minérios, que você irá conhecer neste módulo.

Os dois principais processos existentes para aglomerar finos de minério de ferro são a sinterização e a pelletização. A Vale adota apenas este último, uma vez que a sinterização só é tecnicamente viável quando feita nas instalações da própria siderúrgica, já que o sinter (produto da sinterização) degrada-se muito quando transportado.

No ano de 2011, a Vale produziu 43,1 milhões de toneladas de pelotas em todas as usinas (Tubarão, Maranhão, Minas Gerais e Omã), que são consumidas por siderúrgicas estrangeiras e brasileiras, como a ArcelorMittal Tubarão, empresa localizada bem ao lado do complexo de usinas de pelletização da Vale, no Espírito Santo. Vamos conhecer agora um pouco da história do Complexo e saber em detalhes como é a sua organização.

Complexo de Tubarão – ES



O Complexo de Tubarão, em Vitória, no Espírito Santo, começou a ser construído no final de 1960 e, em novembro de 1969, a Vale inaugura a primeira das sete usinas de pelotização que compõem o complexo atualmente. Os investimentos prosseguem e, em menos de quatro anos, em 1973, a empresa constrói a segunda unidade.

Em janeiro de 1977, começa uma nova era para a estruturação do complexo: é tempo de “casamentos” com outras empresas para formar as chamadas *joint-ventures*. Naquele ano, a Vale se une à empresa italiana Ilva Mining B.V., dando origem à Itabrasco, Companhia Ítalo-Brasileira de Pelotização. O resultado é a construção da terceira planta de pelotização do Complexo de Tubarão. Atualmente, a Vale possui 51% do capital da usina, enquanto a parceira italiana tem 49%.

A quarta usina de pelotização entra em operação exatamente dois anos depois, em janeiro de 1979. Dessa vez, a Vale fecha parceria com o grupo espanhol Aceralía Corporación Siderúrgica. Juntas, as empresas passam a formar a Hispanobrás – Companhia Hispano-Brasileira de Pelotização, para colocar em funcionamento a usina de número quatro.

No mapa do Complexo, as usinas cinco e seis, que entraram em operação em 1978, ficam a alguns

metros de distância das outras quatro unidades. Ambos os projetos resultaram de negociações, firmadas quatro anos antes, entre a Vale, um grupo de seis siderúrgicas japonesas e a Nissho Iwai Corporation. A parceria garantiu à Vale 51% das ações da nova *joint-venture*, que ganhou o nome de Nibrasco, Companhia Nipo-Brasileira de Pelotização.

A sétima usina da Vale ganhou forma somente uma década depois. Em 1998, a Vale e a empresa coreana Pohang Steel Corporation (Posco), a maior siderúrgica da Coreia, criam mais uma *joint-venture* para produzir pelotas: a Kobrasco, Companhia Coreano-Brasileira de Pelotização, atualmente com capacidade para produzir quase cinco milhões de toneladas de pelotas por ano.

Hoje, o Complexo de Tubarão produz cerca de 30 milhões de toneladas de pelotas por ano e boa parte é consumida por um dos principais clientes da Vale no Espírito Santo: a ArcelorMittal Tubarão. A construção da oitava usina de pelotização ficará pronta em 2013. Com capacidade para produzir anualmente sete milhões de toneladas de pelotas, será a maior do Complexo de Tubarão, aumentando sua produtividade para 37 milhões de toneladas de pelotas. Em 2011, Omã produziu 2,1 milhões de toneladas de pelotas tipo redução direta.



Tudo se transforma

A pelletização de minério começou nos Estados Unidos, nos anos 1950, devido à necessidade de concentração dos taconitos – minérios muito pobres – única forma de viabilizar a utilização desse tipo de minério. Surgia assim a pelletização, para aglomerar as partículas e dar forma a um novo produto, as pelotas.

Produção das usinas em 2008 em milhões de toneladas



As outras usinas de pelletização da Vale



Usina de pelletização de Ponta da Madeira

Usina de Pelotização de São Luís

Em 2002, a Vale iniciou a operação da usina de pelletização de São Luís, no Porto de Ponta da Madeira, no Maranhão. A unidade tem capacidade para produzir anualmente sete milhões de toneladas de pelotas. O minério que abastece a usina é proveniente do Pará e chega até o Maranhão pela Estrada de Ferro Carajás (EFC).

Usina de Pelotização de Fábrica

A usina de pelotização de Fábrica, em Congonhas, foi incorporada quando a Vale adquiriu a Ferteco Mineração S.A., em 2001. As minas do Complexo de Fábrica abastecem a pelotização, com capacidade de produzir 4,5 milhões de toneladas de pelotas por ano. Já a usina de Vargem Grande, iniciou suas operações em 2009 e tem capacidade de 7 milhões de toneladas de itabirito.

Usina de Pelotização de Vargem Grande

Em junho de 2009, entra em operação a Usina de Vargem Grande, a segunda em Minas Gerais, com capacidade de produção de 7,0 Mt/ano, elevando a capacidade instalada de produção de pelotas a 44,0 Mt/ano. A planta recebe pellet feed da mina do Pico, em mineroduto de 6 km de extensão, e do beneficiamento de Vargem Grande.



Usina de Pelotização de Omã

Em 2011, a Vale iniciou a produção de pelotas para redução direta na moderníssima usina de Omã, nos Emirados Árabes – com a primeira linha em abril e a segunda linha em novembro de 2011. Sua capacidade total é de 9,0 Mt/ano, o que eleva a capacidade instalada de produção da Vale para 53 Mt/ano. Diferentemente das demais usinas da Vale, esta planta utiliza a tecnologia de forno rotativo para a fase de queima das pelotas.

Usina de pelotização em Omã

O meio ambiente em Tubarão

Foram implantados três precipitadores eletrostáticos em cada uma das 7 usinas de pelotização da Vale, totalizando 21 precipitadores. A função dos precipitadores é reter o material particulado (poeira) que sai dos fornos de pelotização da Vale. A eficiência desses equipamentos é superior a 99%.

A Vale implantou ainda as wind fences, que são telas instaladas nos pátios de estocagem de materiais, que têm a função de reduzir a velocidade do vento incidente nas pilhas de estocagem. Foram instaladas cinco wind fences nos pátios de estocagem de pelotas, minério e carvão do Complexo de Tubarão, totalizando 9 km de tela, que chega a 30 metros de altura.

A Vale implantou ainda o enclausuramento com tela das casas de transferências de correias transportadoras, reduzindo a emissão de poeira durante o manuseio de minério e pelotas. Outro dispositivo implantado pela Vale em Tubarão foi o supressor de pó, que consiste em um produto químico líquido à base de glicerina aplicado nas pelotas de minério. Esse produto forma uma película plástica na superfície das pelotas, assim reduzindo drasticamente a emissão de poeira durante o manuseio das pelotas.

Devido a algumas ações – tais como a substituição da utilização de água nova por água recirculada na aspersão de pilhas de minério, na lavagem industrial, na lavagem de vias, além do maior aproveitamento da água de chuva –, o consumo específico de água na pelotização foi reduzido em 79% no período de 1990 a 2011. Além disso, 62% dos resíduos gerados no Complexo de Tubarão são reciclados.





Precipitador eletroestático
usina de pelotização em tubarão



Alto Forno 3 da ArcelorMittal
Tubarão em construção

VALE e ArcelorMittal Tubarão

A ArcelorMittal Tubarão, atual integrante do Grupo ArcelorMittal do Brasil, é um dos principais clientes das usinas de pelotização da Vale do Complexo de Tubarão, em Vitória, no Espírito Santo. A siderúrgica detém 15,17% da produção nacional de aço por ano. Em 2011, ArcelorMittal Tubarão alcançou a produção de 5,34 milhões de toneladas.



Pelotas que valem ouro



Operação de recuperação de pelotas em tubarão

Quase no final da década de 1990, a previsão era de que o granulado se tornaria escasso, num futuro muito próximo. A tendência, então, era aumentar a produção dos outros produtos, principalmente das pelotas. Foi nesse período que a Vale procurou estreitar suas relações com a ArcelorMittal Tubarão, um dos principais clientes da Vale em terras brasileiras, juntamente com Usiminas, Cosipa, Açominas e Acesita (ArcelorMittal Inox), entre outras. A estratégia era mostrar que as pelotas eram uma boa opção para os alto-fornos da empresa.

Era um momento de pressão por parte dos concorrentes. O mercado considerava excelente a qualidade do granulado das outras

mineradoras que, por sua vez, procuravam garantir suas vendas oferecendo aos clientes diversas vantagens caso adquirissem uma variedade de produtos, principalmente granulado e *sinter feed* (produtos que você conheceu no módulo III). Na época, a ArcelorMittal Tubarão consumia 20% de granulado e 80% de *sinter feed*. Para se prevenir contra a futura escassez do granulado, a ArcelorMittal Tubarão – que já estava elaborando um plano de expansão – avaliou a possibilidade de investir para aumentar sua capacidade de sinterização, cujo processo você vai conhecer ainda nesse módulo. É nesse momento que entra em cena uma equipe de especialistas da Vale.

Os profissionais da Vale fizeram vários estudos e apontaram que o granulado começaria a ficar escasso no ano de 2001 e que, portanto, a ArcelorMittal Tubarão teria, já naquele ano, de diminuir a proporção deste produto na carga do alto-forno. Eles também concluíram que haveria uma alternativa para a ArcelorMittal Tubarão não investir na ampliação da capacidade de sinterização, como os profissionais da empresa haviam pensado.

A pesquisa dos técnicos da Vale apontou gastos consideravelmente altos por parte da ArcelorMittal Tubarão, caso a empresa decidisse investir de fato na sinterização e, mesmo assim, ainda seria necessário consumir pelotas como complemento de carga, para atingir a produção estimada no período.

Com os estudos, os especialistas da Vale provaram que seria mais vantajoso – não só economicamente como também para a produção – se a siderúrgica optasse por aumentar o consumo de pelotas da Vale.

O resultado das pesquisas foi um acordo firmado, em outubro de 2000, com validade de dez anos, entre a ArcelorMittal Tubarão e a Vale para a compra de produtos exclusivamente da Vale. A empresa aumentou o consumo de novecentas mil para um milhão de toneladas de granulados anualmente, sendo 100% oriundos da Vale. O mesmo aconteceu com o consumo do *sinter feed*: pulou de três milhões (com 78% de participação da Vale) para 4,5 milhões (100% Vale). Além, é claro, das pelotas, que passaram a fazer parte da carteira de produtos oferecidos pela Companhia para a siderúrgica, resultando na entrega de dois milhões de toneladas por ano.



» Pelotas

2 milhões de toneladas/ano

» Granulados

900 mil toneladas » 1 milhão de toneladas

» Sinter feed

3 milhões de toneladas » 4.5 milhões de toneladas



Um panorama
da indústria
siderúrgica
no mundo



Maiores Produtores Mundiais de Aço (Empresas)

Arcelor-Mitral	98,2
Baosteel Group	37,0
POSCO	35,4
Nippon Steel	35,00
JFE	31,1
Jiangsu Shagang	23,2
Tata Steel	23,2
U.S. Steel	22,3
Ansteel	22,1
Gerdau	18,7

O ano de 2004 vai ficar registrado na história da siderurgia mundial. A produção de todas as companhias siderúrgicas ultrapassou a marca de um bilhão de toneladas de aço, número nunca antes visto na trajetória do setor em um único ano. Esse recorde foi encabeçado principalmente pela China, como vimos no início do Módulo II. O país é o maior produtor mundial de aço e, nesse mesmo ano, foi responsável por 272 milhões de toneladas. No ano de 2005, avançou para 349 milhões de toneladas, um crescimento anual de 77 milhões e, no ano de 2006, alcançou a impressionante marca de 419 milhões de toneladas de aço. Décimo lugar na lista dos produtores de aço, no ano de 2006, o Brasil contribuiu com 31 milhões de toneladas. A China também é o maior importador de minério de ferro de vários países – incluindo, é claro, o verde-amarelo – no ano de 2008, alcançou 500 milhões toneladas. Em 2008, a China importou quase 101 milhões toneladas de minério de ferro do Brasil.

De 2000 a 2005, a produção mundial das siderúrgicas cresceu 267 milhões de toneladas. O setor também sofreu constantes transformações: fusões de empresas e de grupos vêm mudando o cenário da siderurgia mundial. Antigos concorrentes formam conglomerados, tornando o mercado cada vez mais globalizado e exigindo das companhias a revisão de suas estratégias de negócios, para se manterem competitivas.

A criação do maior grupo siderúrgico do mundo, por exemplo, ocorreu ainda em 2002, com a fusão de três grandes empresas: Arbed, Aceralia e Usinor formaram a Arcelor, capaz de produzir 50 milhões de toneladas de aço por ano. A empresa é hoje dona da ArcelorMittal Tubarão. Em junho de 2006, a Arcelor foi adquirida pelo grupo indiano Mittal e, a partir de então, passou a ser o maior conglomerado siderúrgico mundial, detentor de uma produção anual de quase 100 milhões de toneladas de aço. No Brasil, o Grupo Gerdau procurou ampliar sua atuação com aquisições nos mercados brasileiro, americano e canadense e também em países da América do Sul.

Maiores Produtores Mundiais de Aço (Países)

China	695,5
Japão	107,6
USA	86,2
Índia	72,2
Rússia	68,7
Coreia do Sul	68,5
Alemanha	44,3
Ucrânia	35,2
Brasil	35,2
Turquia	34,1



Introdução à siderurgia



Introdução à Siderurgia

A propriedade mais atraente de um metal não é necessariamente a sua dureza, mas a alta resistência mecânica associada à “facilidade” com que ele pode ser produzido nas mais variadas formas, para atender a diferentes usos. Exemplo típico é a estampagem (forjamento a frio de peças metálicas) da lataria dos automóveis, que não se desfazem em pedaços em uma eventual colisão.



Noventa milhões de toneladas de aço dariam para produzir 200 milhões de automóveis. Se resolvêssemos colocar todos os carros um atrás do outro, para-choque contra para-choque, considerando um comprimento de 3 metros por automóvel, esses 200 milhões de veículos formariam uma fila que circundaria a Terra cerca de 15 vezes. Em tempo: apenas um automóvel contém aproximadamente 450 kg de chapas de aço (normalmente chapas laminadas a frio ou zincadas).



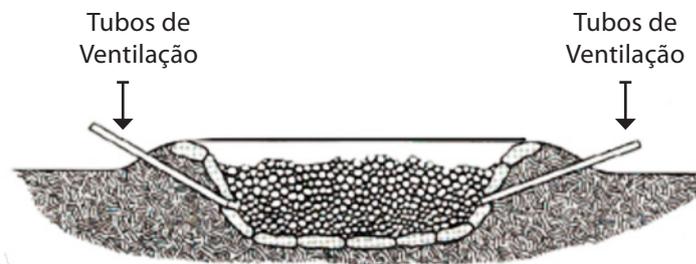
O ferro, como a maioria dos metais, ocorre na natureza sob a forma de óxidos, hidróxidos ou outros compostos, por serem essas as suas formas mais estáveis. No cotidiano, pode-se perceber que o ferro oxida espontaneamente. Ou seja, fica enferrujado simplesmente pelo contato com o ar. Para que os óxidos de ferro sejam transformados em ferro metálico, o qual será destinado à fabricação do aço, é necessário

remover deles o oxigênio. A retirada do oxigênio é feita por meio de processos que utilizam altas temperaturas. A extração dos metais de seus minérios é chamada de metalurgia. Quando ela ocorre em altas temperaturas, dá-se o nome de pirometalurgia. A siderurgia (grego *sideros* = ferro) é um caso particular da pirometalurgia que trata da extração do ferro e da consequente fabricação do aço.

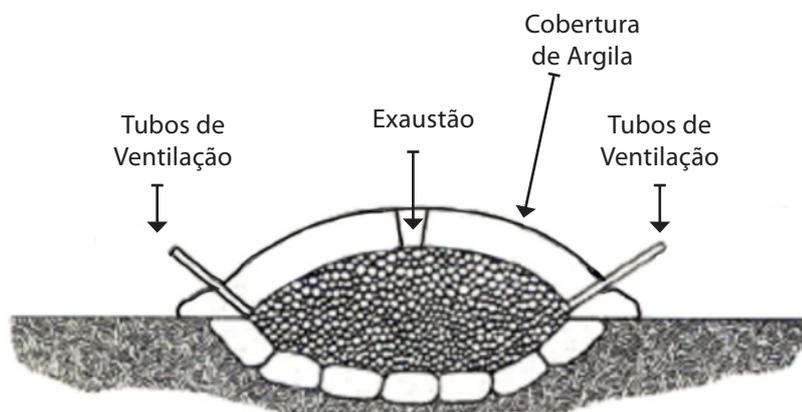
A Produção do ferro primário

A retirada do oxigênio do minério de ferro, produzindo o ferro metálico, chama-se operação de “redução” do ferro. O produto da redução é genericamente conhecido como “ferro primário”, que pode ser o ferro-gusa ou o ferro-esponja (que recebeu esse nome por ter um aspecto esponjoso), produzidos nos reatores chamados de “alto-forno” e “forno de redução direta”, respectivamente. Ambos são resultados de mais de três mil anos de evolução tecnológica, iniciada com as fornalhas de chão dos celtas. No Japão ainda há fornalhas semelhantes às dos ancestrais, que produzem o ferro mais nobre para as espadas samurais, a um preço de cinquenta mil dólares a tonelada. O alto-forno é um descendente direto das primeiras fornalhas, enquanto o forno de redução direta é uma variante mais recente.

A redução do ferro é feita em altas temperaturas, colocando-se os óxidos de ferro presentes no minério em contato com materiais redutores. Esses materiais têm em suas composições elementos redutores, como o carbono – o mais utilizado – presente em alta concentração em insumos como o carvão vegetal e o coque (carvão mineral tratado em coqueria, a temperaturas próximas de 1100 °C, em ausência de oxigênio). Outros elementos redutores importantes são o hidrogênio e o monóxido de carbono, gerados a partir do gás natural. Dos principais reatores para produção de ferro primário, os altos-fornos utilizam redutores carbonáceos, enquanto os fornos de redução direta usam gás natural.



Forno de chão aberto



Forno de chão Fechado

Após a queda do Império Romano, desenvolveu-se, na Espanha, a Forja Catalã, que veio a dominar todo o processo de obtenção de ferro e aço durante a Idade Média, espalhando-se notadamente por Alemanha, Inglaterra e França. A Forja Catalã foi o processo intermediário entre os fornos mais primitivos e os altos-fornos que são utilizados até hoje. Ela consistia numa lareira feita com pedras, e o ar frio era inflado nessa fornalha por foles manuais. O carvão de madeira era posto na lareira e, quando se achava em brasas, era coberto por uma camada de minério, à qual se seguiam camadas justapostas de carvão e minério, ficando a última ao lado do fole. Quando o ar era insuflado, o carvão se queimava e então se processava a redução do minério a metal. O rendimento desse processo ainda era baixo e as temperaturas alcançadas com ele, também.

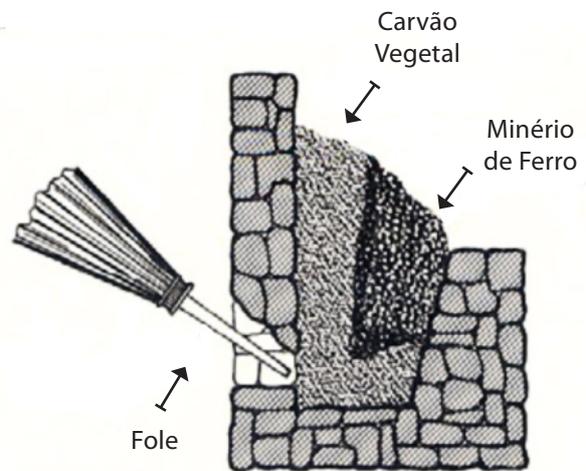
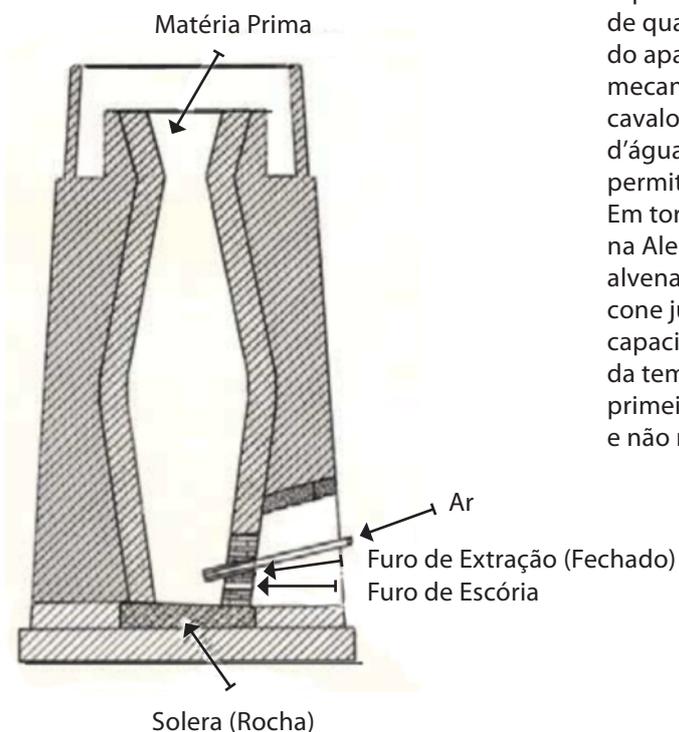


Diagrama Esquemático de uma Forja Catalã

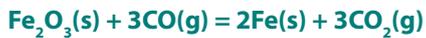


Perfil de um Stuckofen

O primeiro passo importante para a obtenção de quantidades maiores de ferro resultou do aparecimento dos foles acionados mecanicamente por servos ou por juntas de cavalos. No século XII, começou-se a usar a roda d'água para a movimentação dos foles, o que permitiu logo a construção de fornos maiores. Em torno de 1400, apareceram os Stuckofen na Alemanha e na Áustria, construídos em alvenaria e com a forma de dois troncos de cone justapostos pela base. O aumento da capacidade de sopragem resultou na elevação da temperatura de trabalho, de modo que, pela primeira vez, obteve-se ferro em estado líquido e não mais em esponja pastosa.

Você se lembra das reações químicas dos tempos de escola?

Pois veja a reação típica de redução do minério de ferro, mostrando a remoção do oxigênio do ferro:



Os minérios e suas rotas

Depois dos processos de beneficiamento – que você conheceu no Módulo III – cada tipo de minério de ferro percorre rotas diferentes. O granulado, por possuir propriedades químicas e tamanhos adequados, segue direto para o cliente, o siderurgista, tanto aquele que produz por meio da rota integrada a coque quanto o que utiliza a rota de redução direta. Em ambas as rotas (você vai conhecer mais adiante), o granulado alimenta diretamente o reator pirometalúrgico.

Os minérios finos (*sinter feed*, *pellet feed*) não podem ser colocados diretamente no reator pirometalúrgico e, por isso, precisam passar por uma etapa de aglomeração, que pode ser a

sinterização ou a pelotização. Embora também vá direto para o cliente, o *sinter feed* percorre um caminho um pouco diferente antes de chegar ao alto-forno. O produto passa pela sinterização, etapa desempenhada pelo próprio siderurgista.

Já o *pellet feed*, por ser superfino, ganha primeiro a forma de uma pelota – nas usinas de pelotização da Vale – para, então, alimentar os reatores pirometalúrgicos do cliente. Vamos conhecer os vários percursos que o minério pode percorrer, alguns já em poder dos siderurgistas, para ser transformado em ferro-gusa e em ferro-esponja, principais matérias-primas para a produção do aço.

Os produtos e seus tamanhos



Granulado

varia entre 6,35 e 0,149 mm.



Sinter Feed

varia entre 6,35 e 0,149 mm.



Pellet Feed

varia entre 0,149 e 0,037 mm



Pelotas

Variam entre 8,0 e 18,0 mm.

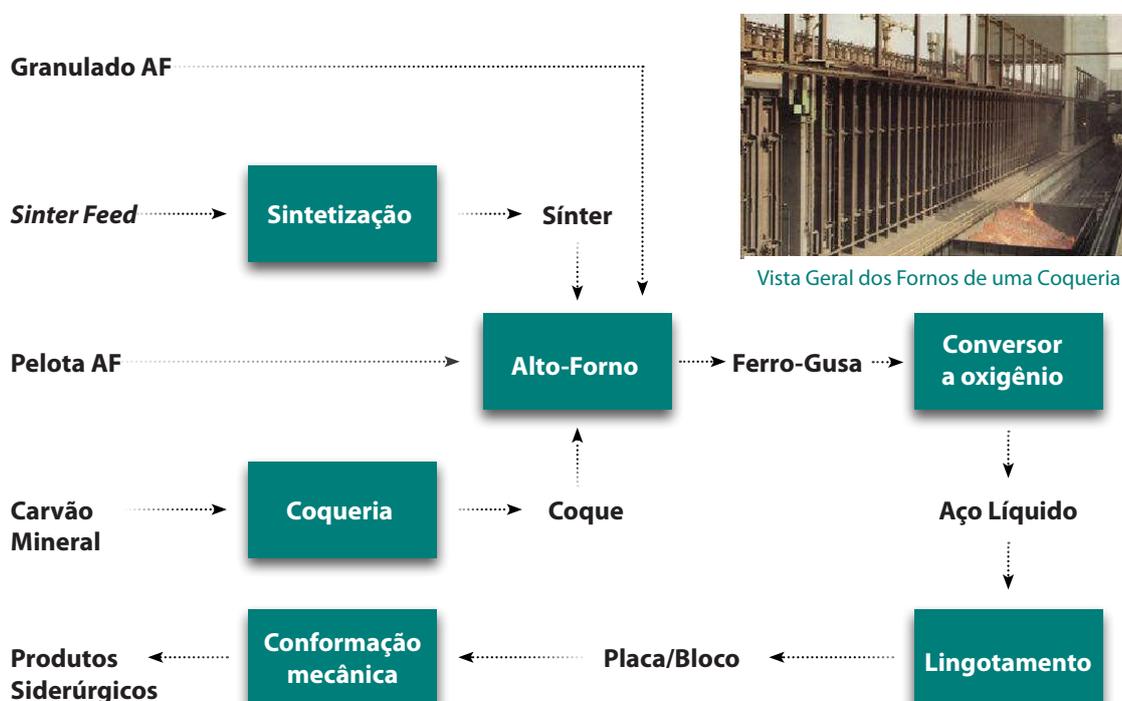
Usina Siderúrgica Integrada

Uma usina siderúrgica integrada é aquela que inicia seu processo de produção a partir de matérias-primas não elaboradas (minério de ferro e carvão mineral) e vai até o produto final. Os dois tipos mais importantes são a usina integrada a coque e a usina integrada de redução direta.

A usina integrada a coque é composta por coqueria, sinterização, alto-forno e aciaria a oxigênio. Sua principal fonte energética é o carvão mineral. Já a usina integrada de redução direta é composta por reator de redução direta e aciaria elétrica, e seu principal insumo energético é o gás natural.

Usina Integrada a Coque

Diagrama esquemático da Usina Intergrada a Coque



A rota de produção de aço integrada a coque é de longe a mais importante. Para se ter uma ideia da sua magnitude, no ano de 2011, foram produzidas 1,08 bilhões de toneladas de ferro-gusa, que é produzido via alto-forno, contra 63,5 milhões de toneladas de ferro- esponja, obtido por rota de redução direta.



Coqueria

A coqueria é composta de fornos nos quais se aquece uma mistura de carvões minerais, em ausência de ar, a temperaturas entre 1.000 e 1.100 °C, em um processo que pode durar até 20 horas. É semelhante à destilação do petróleo, e o resíduo sólido do processo é chamado de coque. O coque é um material poroso, muito duro, e exerce várias funções no alto-forno:

- a. **Redutor:**
propicia a remoção do oxigênio dos minérios;
- b. **Combustível:**
fornece energia para o processo;
- c. **Elemento permeabilizante:**
promove a permeabilidade da carga no alto-forno.

Alto-forno

O alto-forno produz ferro-gusa por meio da remoção do oxigênio do minério de ferro, usando carvão vegetal ou coque, cuja combustão produz o calor necessário para elevar a temperatura e gera o gás redutor para promover as reações de redução. Os gases gerados passam através do alto-forno e são expelidos pelo topo. O ferro funde-se e, no fundo do reator, vai se acumulando sob a forma de ferro-gusa, juntamente com outro produto líquido, constituído de algumas impurezas, chamado de “escória”.

Os minérios (incluindo-se aí granulados, sinter e pelotas), os redutores (carvão ou coque) e eventualmente alguns aditivos alimentam o alto-forno pela parte superior, constituindo a sua carga, e lá dentro são distribuídos em camadas alternadas no seu interior. Enquanto a carga desce sob a ação de seu próprio peso, ar quente é injetado na parte inferior do forno, por entradas chamadas “ventaneiras”. Trata-se, portanto, de um reator que funciona em regime contracorrente.

Em frente às ventaneiras, o combustível é queimado por meio da injeção de ar quente e a

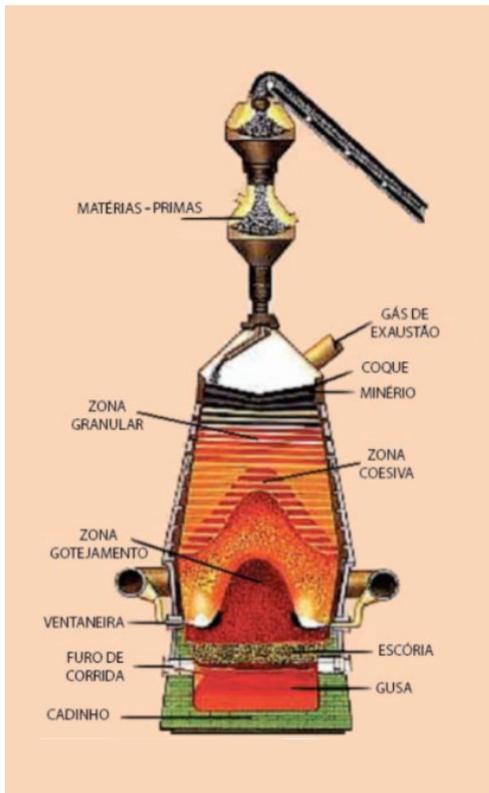


Topo do Alto-Forno

temperatura pode atingir 2.200 °C. No interior do cadinho, o ferro-gusa e a escória separam-se por densidade (por ter menor densidade, a escória flutua). A função da escória – que também é um subproduto do processo, utilizado como insumo na produção de cimento – é reter parte das impurezas contidas no coque e no minério de ferro.

Ao sair do alto-forno, o ferro-gusa ainda possui impurezas, como o fósforo, que não foram incorporadas à escória formada durante o processamento do minério no alto-forno. O fósforo é um elemento considerado deletério para o aço e precisa ser retirado por completo na aciaria, etapa em que o ferro-gusa é transformado em aço líquido.

Topo do alto-forno



A operação de um alto-forno é bastante complexa e o seu funcionamento demorou muitos anos para ser entendido. Um grande passo para esse entendimento foi dado pelos japoneses na década de 1970. Eles congelaram altos-fornos em pleno funcionamento, utilizando nitrogênio líquido, e depois fizeram um delicado trabalho de dissecação. Utilizando essa técnica, eles puderam identificar diversas zonas de reação e também como a carga se distribuía no interior do forno.

Assim, os altos-fornos apresentam uma região, localizada na parte superior, chamada de zona seca ou granular. Nesse local, toda carga metálica está no estado sólido. À medida que desce no forno, a carga metálica entra na zona de amolecimento e fusão, também chamada de “zona coesiva”. Nessa região, a carga começa a amolecer e a se fundir. O tamanho dessa zona é de extrema importância para o adequado funcionamento do forno porque ela define as condições de permeabilidade nas regiões inferiores do reator. Logo depois, encontra-se a zona de gotejamento e finalmente, o cadinho, na base do forno, onde se depositam o ferro-gusa (líquido) e a escória.

Curiosidades de um alto-forno:

O alto-forno número Nº 1 da ArcelorMittal Tubarão tem 110 metros de altura, o equivalente a um prédio de 36 andares. Se fosse utilizado para receber água, teria capacidade de armazenar 4.415.000 litros.

Saiba mais sobre a escória

O minério de ferro contém impurezas, geralmente na forma de óxidos, comumente chamadas de ganga. Durante a produção do ferro-gusa, a ganga é removida por meio da escória formada pela adição de fundentes, a qual é insolúvel no metal. Como a ganga existente no minério de ferro e também no coque é ácida, fundentes básicos são utilizados, como o calcário e a dolomita. Assim, a escória é uma mistura homogênea de óxidos, e o fundente é o constituinte adicionado, com a finalidade de reagir com a ganga, estabilizando-a. Tem a função também de baixar o ponto de fusão da escória, pois, como vimos, o processo ocorre em altas temperaturas.

Veja abaixo a composição química típica de uma escória de alto-forno a coque nas siderúrgicas japonesas:

- » Óxido de Cálcio (CaO) = 42%;
- » Óxido de silício (SiO₂) = 33%;
- » Óxido de alumínio (Al₂O₃) = 15%;
- » Óxido de magnésio (MgO) (MgO) = 8%;
- » Óxido de Fósforo = desprezível.

A relação entre permeabilidade e produtividade

A permeabilidade é a facilidade com que o gás passa através do material sólido dentro de um alto-forno. Quanto mais o gás permear pelas camadas, mais rapidamente ele reagirá e maior será a produção de ferro-gusa. Assim, a presença de material muito fino pode prejudicar o fluxo de gás ou até mesmo o funcionamento do equipamento. Por isso, o minério precisa ter propriedades químicas e físicas capazes de gerar o mínimo possível de partículas finas. A permeabilidade é um dos parâmetros que mais influenciam a produtividade do alto-forno.

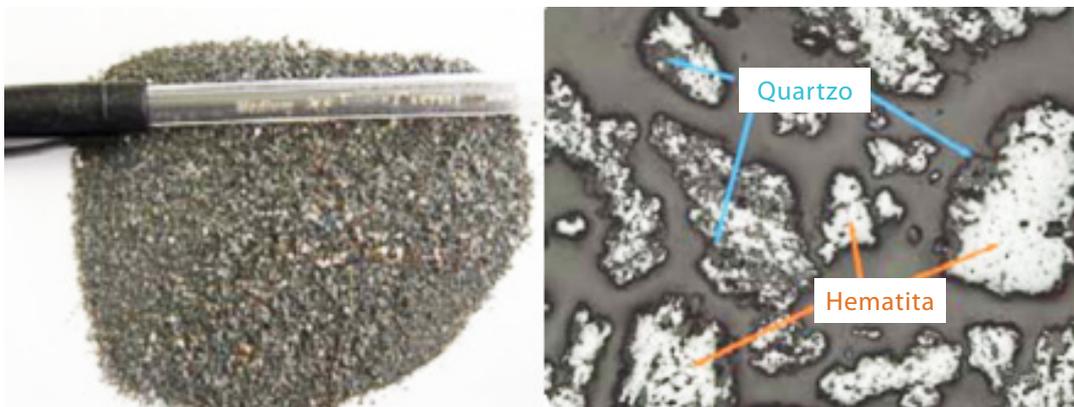
As impurezas do minério e seus efeitos no processo

São três as impurezas mais comuns presentes no minério: a sílica, a alumina e o fósforo.

SÍLICA: quanto maior o percentual da sílica na carga maior o volume de escória gerado no alto-forno, o que causa também a elevação do consumo de combustível (coque) e um consequente aumento do custo do processo. Na produção de ferro-gusa, o objetivo é trabalhar com o menor volume de escória possível.

ALUMINA: o aumento da quantidade de alumina também pode gerar aumento no volume de escória, trazendo as mesmas implicações da sílica. Pode também elevar a viscosidade da escória, fator importante para a eficiência do processo: Quanto maior a viscosidade maior a dificuldade de reagir. A escória, quando se torna viscosa, ganha a consistência de um "chiclete", dificultando a remoção das impurezas.

FÓSFORO: aqui o problema é que 95% do fósforo contido no minério seguem para o gusa. O fósforo é um elemento nocivo para a produção do aço, por isso precisa ser removido no refino, que é a etapa posterior à fabricação do ferro-gusa. Quanto maior o teor de fósforo no gusa, maior o custo do refino porque há, mais uma vez, aumento do volume de escória e, como consequência, maior consumo de fundente, que é a cal virgem. Além disso, o aumento de escória aumenta as perdas de ferro que ocorrem no refino.



Impurezas no minério. No detalhe, imagem microscópica das impurezas

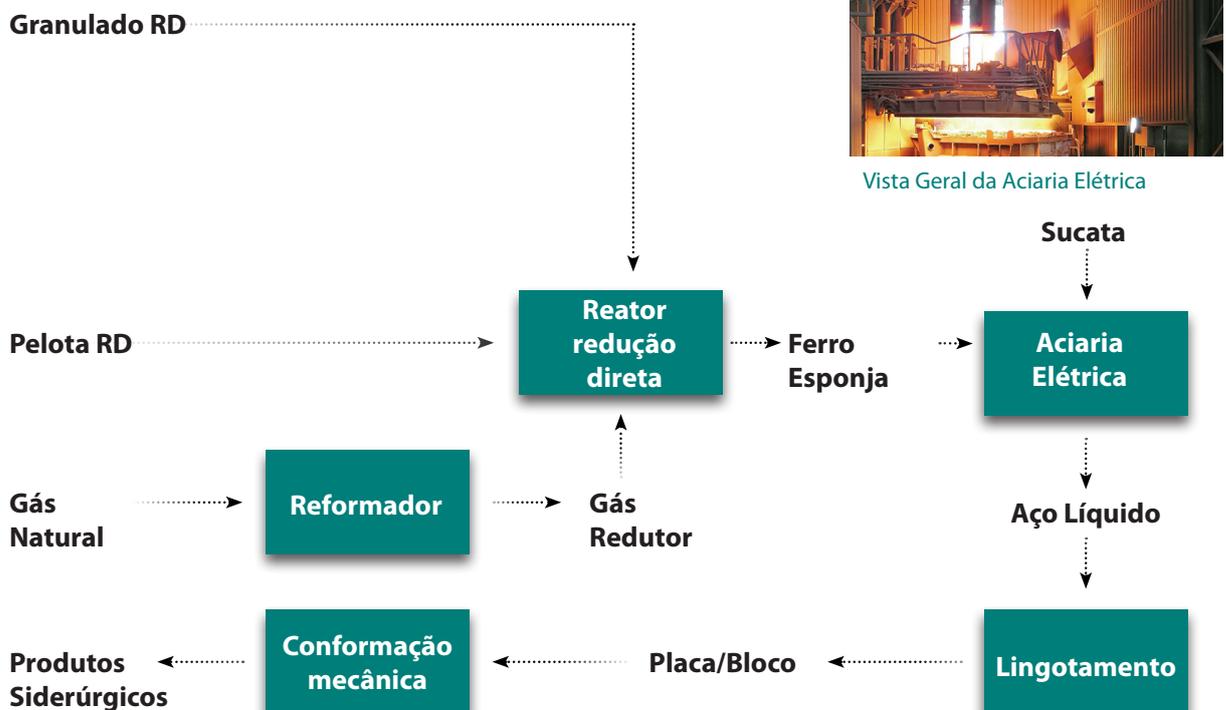
Aço Verde



Siderúrgicas como a V&M do Brasil S.A (Vallourec & Mannesman Tubes) já fabricam o chamado “aço verde”. Ao plantar florestas de eucalipto, a empresa contribui para a redução do efeito estufa. Isso porque, durante o crescimento, as árvores retiram o gás carbônico (CO₂) da atmosfera e produzem oxigênio. Embora os mesmos eucaliptos sejam transformados posteriormente em carvão vegetal e a sua queima nos fornos das siderúrgicas produza efeitos negativos ao meio ambiente, os especialistas garantem que, no final, o saldo é positivo: a produção de oxigênio durante o crescimento dos eucaliptos pesa e muito na balança a favor do meio ambiente.

Usina integrada a redução direta (RD)

Diagrama esquemático da Usina Intergrada a Redução Direta



Na rota de redução direta, o minério é levado para um reator, cuja principal fonte energética é o gás natural. Um equipamento chamado “reformador” transforma o gás natural em gás redutor, que promoverá a retirada do oxigênio do óxido de ferro (minério). A pelota é o principal constituinte da carga metálica do reator de RD. Já o granulado é usado algumas vezes como complemento da carga. Entretanto, não se utiliza sinter em reatores de redução direta em razão do seu baixo teor de ferro: no reator de RD não há formação de líquido, e como consequência não há formação de escória. Isso significa que toda impureza existente no minério fica retida no ferro-esponja.

A carga entra pelo topo e alimenta o reator em temperatura ambiente e atinge, na zona de reação, aproximadamente 950 °C. Depois, é resfriada – no interior do próprio forno – e descarregada a uma temperatura abaixo de 100 °C. O produto final é um sólido altamente poroso, chamado de “ferro-esponja”, que será convertido em aço em um forno elétrico, na aciaria, unidade responsável pela transformação do ferro em aço. Em tempo: comparativamente, a rota integrada de redução direta tem menor importância do que a rota integrada a coque. Basta olhar para a geografia dos produtores via redução direta para perceber que a RD se concentra em locais com abundância de gás natural, como Venezuela e países do Oriente Médio. Não é o caso de países como China, Japão, Coreia e Alemanha – grandes produtores de aço – que não utilizam em suas siderúrgicas a rota de redução direta.



O ferro-esponja é altamente poroso e produzido no estado sólido. Quando precisa ser transportado por longas distâncias, ele tem de ser briquetado, para que não haja reoxidação, o que não é necessário no caso de ser consumido no próprio site onde é produzido. Na língua inglesa, o ferro esponja “*in natura*” é chamado de DRI (*Directed Reduced Iron*); o briquetado é conhecido por HBI (*Hot Briquetted Iron*). Veja ambos na figura.

Aciaria

Seja ferro-gusa ou ferro-esponja, o ferro primário vai precisar passar por mais um processo antes de se transformar em aço. Nessa nova etapa, denominada de “refino”, as impurezas ainda existentes no ferro primário e o carbono incorporado na redução são removidos. Essa remoção se dá por oxidação (contrário de redução) das impurezas e, nesse caso, o oxigênio é o agente oxidante. A área onde se processa o refino é chamada de “aciaria”, e os reatores trabalham em batelada. Ou seja, a operação não é contínua, e sim um pouco de cada vez. Durante a operação na aciaria, a temperatura atinge 1.650 °C.



Vazamento de Ferro-Gusa na Aciaria

A aciaria a oxigênio recebe carga predominantemente líquida (ferro-gusa), saída diretamente do alto-forno e alguma carga sólida (sucata) é adicionada para o controle da temperatura. Como na aciaria elétrica o reator é um forno elétrico, pode-se utilizar carga 100% sólida (ferro-esponja), proveniente do reator de redução direta.

Após o término do refino, algumas operações ainda precisam ser realizadas e são comumente chamadas de “refino secundário”. É neste momento que se faz a remoção de oxigênio residual dissolvido, chamada de “desoxidação”, e a remoção de outros gases como hidrogênio e nitrogênio, chamada de “desgaseificação”. Nessa etapa, também se removem partículas sólidas muito finas existentes no aço e que podem prejudicar suas propriedades mecânicas.

Outra operação fundamental é o ajuste final da composição química do aço. Imagine que se queira fabricar um aço “ferramenta”, que leve vanádio em sua composição. É nesse momento que se faz a adição do vanádio, normalmente sob a forma de ferro-ligas (a Vale é importante produtora de ferro-ligas de manganês). Após o ajuste da composição, o aço líquido é solidificado, normalmente lingotado em formatos apropriados. A prática mais comum utilizada atualmente é o lingotamento contínuo, que gera as famosas placas de aço.



Forno elétrico – aciaria



Panela de aço líquido para refino secundário



Placa de Aço após o Lingotamento Contínuo

Conformação mecânica

Após ter sido solidificado em lingotes ou placas, ganhando seu “primeiro corpo”, o aço passará por um processo de conformação mecânica que vai gerar uma variedade de produtos primários como vergalhões, barras, perfis, chapas etc. São inúmeros os processos de conformação mecânica existentes, e o mais comum na siderurgia é a laminação, aquela em que o metal tem sua forma alterada ao passar entre rolos e rotação. Os produtos primários que as siderúrgicas fabricam serão posteriormente transformados em outros produtos a serem utilizados em edificações, meios de transporte e bens de consumo duráveis, como fogões, geladeiras, carros, entre outros.



Fio máquina após confirmação



Vergalhões



Barra Quadrada



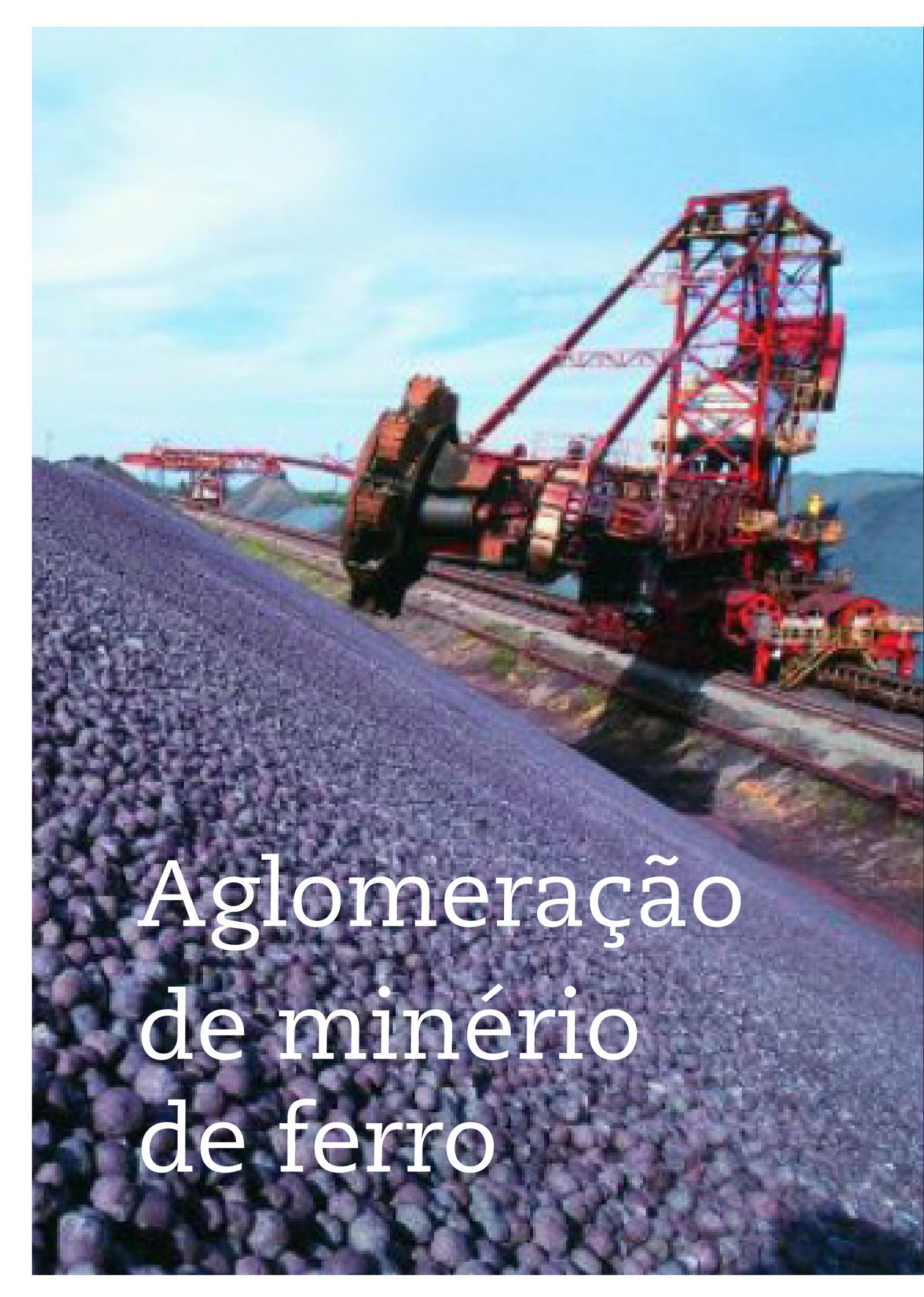
Bobinas

O avanço das aciarias elétricas

A produção de aço em fornos elétricos começou no início do século XX, enquanto que a aciaria a oxigênio, apesar do conceito já ser conhecido, só teve início em 1952, devido ao barateamento do oxigênio para uso industrial. A partir de então, o crescimento desta rota tecnológica foi explosivo. No ano de 2010, 71% do aço produzido no mundo foi via aciaria a oxigênio e 28% via aciaria elétrica.

Embora seja um processo que utiliza energia elétrica, um insumo nobre, geralmente de custo elevado, a proporção do aço elétrico tem crescido significativamente nos últimos anos. Uma das razões está relacionada ao grande avanço tecnológico associado às operações do forno elétrico, que provocou aumento crescente de produtividade e redução significativa do consumo de energia elétrica.

Outro fator importante tem a ver com questões ambientais. Como vimos, as aciarias elétricas podem trabalhar apenas com carga sólida e, nesse caso, utilizam sucata ou mesmo combinações: sucata com ferro-esponja e/ou ferro-gusa. Nessa configuração, o nível de emissões é substancialmente reduzido, uma vez que não é necessário haver coqueiras e altos-fornos. Esse tipo de usina siderúrgica recebe o nome de “mini mills” e é muito comum nos Estados Unidos.



Aglomeração de minério de ferro

Aglomerção de minério



Planta piloto de sinterização no centro localizado em Nova Lima, MG

A tecnologia de sinterização entrou em operação no início do século XX e foi criada com o objetivo de aproveitar minérios finos – em quantidades crescentes no mundo naquela época – e resíduos industriais. Com o passar do tempo, o enfoque se alterou. A sinterização atual visa elaborar um produto de altíssima qualidade para o alto-forno. Esse produto, chamado de sinter, é o constituinte majoritário dos grandes altos-fornos existentes no mundo (70 a 90% do total).

A sinterização é o processo que aglomera finos de minério de ferro (granulometria entre 6,35 e 0,149 mm) e fundentes (calcário, dolomita, serpentinito), possibilitando obter, por fusão parcial à temperatura da ordem de 1300 °C, um produto granulado, poroso, com propriedades físicas, químicas e metalúrgicas ideais para o alto-forno.

Os minérios de ferro, fundentes, aditivos, resíduos reciclados e combustíveis sólidos (coque, carvão vegetal ou antracito) são devidamente misturados e umidificados (a umidade é importante para conferir resistência mecânica e permeabilidade à mistura) e carregados em uma esteira metálica contínua.

À medida que a mistura “viaja” na esteira, uma série de complexas reações acontecem. A temperatura atinge patamares de 1300 °C e, a partir daí, começa a fusão parcial das partículas que, posteriormente, após o resfriamento, permanecem ligadas por uma matriz de escória. Para gerar o calor necessário, o ar aspirado por um sistema de exaustão passa através da mistura e queima o combustível adicionado. A reação se processa de cima para baixo e termina quando a frente de combustão atinge o fundo da camada de mistura.

O sinter produzido é britado, peneirado e classificado. A fração grossa é enviada para o alto-forno e a fração fina é reciclada no processo. Como possui um índice de degradação ao manuseio relativamente elevado, o sinter não é adequado para transportes a longa distância, principalmente em navios. Essa é uma das razões pelas quais as sinterizações estão instaladas ao lado dos altos-fornos dos clientes.



ThyssenKrupp CSA Siderúrgica do Atlântico - Planta de sinterização

Os Componentes em uma Mistura de Sinterização

MINÉRIO DE FERRO

- » Portador de ferro.

MINÉRIO BASE

- » O que é usado em maior proporção.

MINÉRIO DE ADIÇÃO

- » O que é usado em menor proporção para corrigir características da mistura ou para diminuição de custo.

FUNDENTE

- » Diminuidor de temperatura de fusão da mistura.

BÁSICO

- » Calcário, cal, dolomita, dunito/serpentinó usado com minério de ganga ácida.

ÁCIDO

- » Quartzo (areia), usado com minério de ganga básica.

COMBUSTÍVEL

- » Fornecedor de energia.

SÓLIDO

- » Coque metalúrgico, coque de petróleo, carvão vegetal, antracito (fornece energia para o processo).

LÍQUIDO/GASOSO

- » Óleo, gás coqueria, GLP (usado para a ignição).

ADIÇÕES

- » Corretivos de características, aproveitamento de resíduos, recirculação.

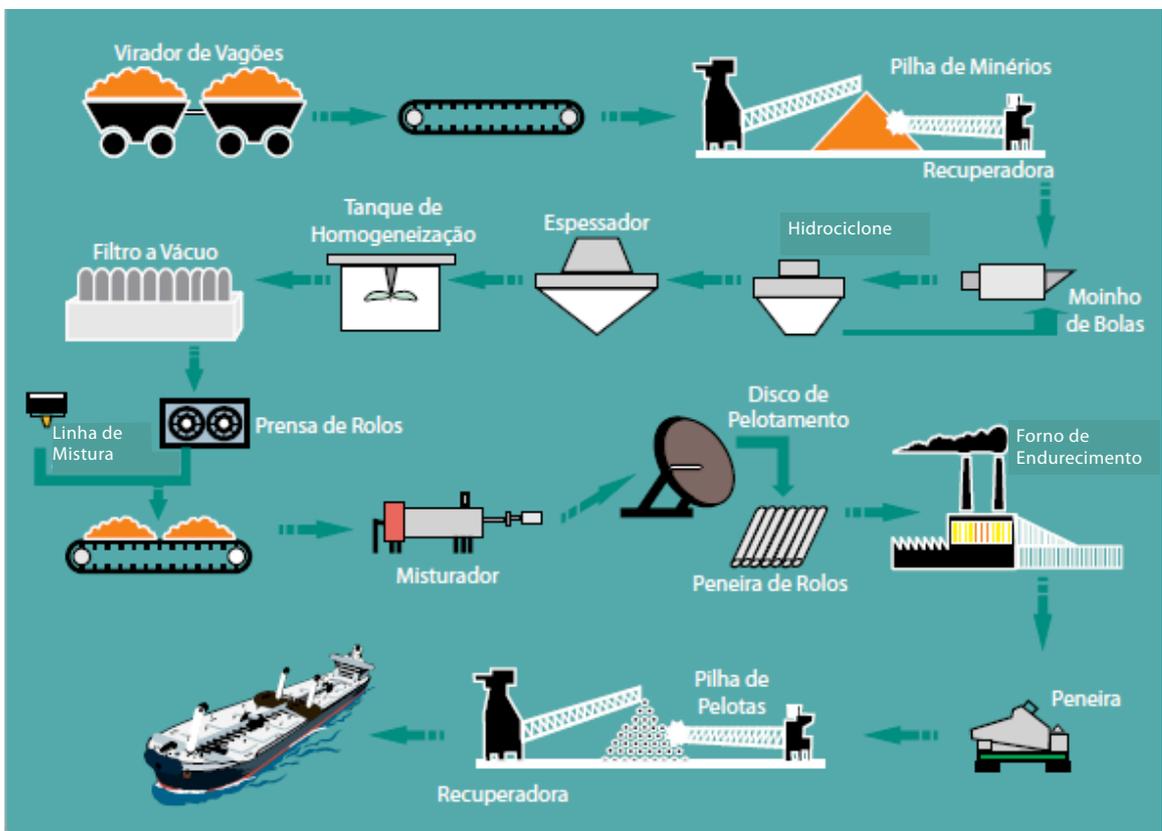
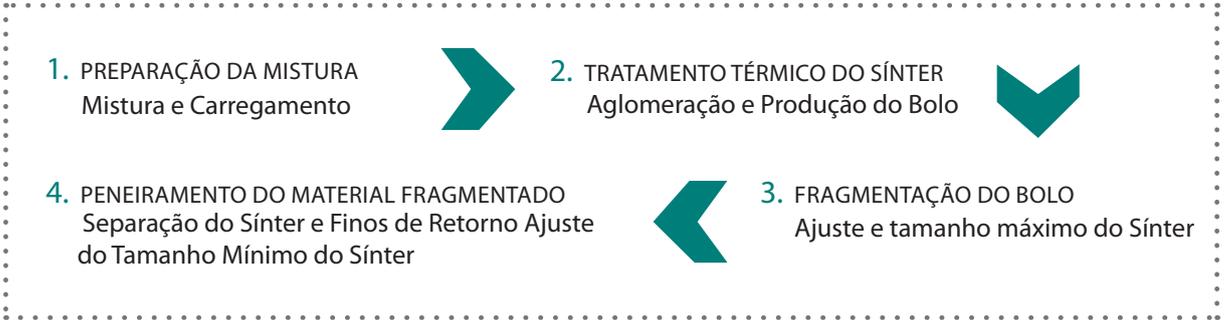
PORTADORES DE FERRO

- » Carepa, pó de AF, lixo industrial.

OUTROS

- » Escória de AF, minério de Mn.

Etapas de produção do sinter



Fluxograma típico do processo de Pelotização

Os diversos minérios chegam a Tubarão pela ferrovia e, após serem descarregados no virador de vagões, são empilhados nos pátios das Usinas de Pelotização. A etapa de empilhamento tem que garantir a homogeneização da pilha, uma vez que ela é constituída de minérios de várias minas. Após ser recuperado, o minério vai para a moagem, cujo objetivo é ajustar a granulometria do *pellet feed* às exigências da pelotização. Dentro do moinho, corpos moedores (bolas de aço, por exemplo) fragmentam o minério para diminuir as partículas. A meta é fazer com que esses “pequenos pedaços” possam ganhar tamanho adequado para, depois, se juntarem novamente durante a formação da pelota. Quanto menor o tamanho das partículas, mais fácil será a pelotização. As unidades de pelotização da Vale no Brasil utilizam moagem a úmido: mistura-se água ao minério formando uma polpa. Em Omã, o processo de moagem é a seco.

Depois da moagem, o minério é enviado para um espessante para a retirada da maior parte da água contida na polpa. O processo é bem semelhante ao desenvolvido no beneficiamento de minério, mostrado no terceiro módulo deste curso. A polpa é colocada dentro de um tanque; enquanto a parte sólida desce para o fundo, a água sobe: é o princípio da decantação. Assim como acontece na etapa de beneficiamento, a filtragem é uma das etapas da pelotização. O minério recém-saído do espessante passa por um tanque e depois pelo filtro a disco, que utiliza os mesmos princípios de um filtro de café para remover mais líquido, com o objetivo de deixar o minério com a umidade ideal para a formação da pelota: de 8 a 10%.

Em seguida, o minério vai de correia transportadora para a próxima etapa: a formação das pelotas. Durante o percurso, são adicionados alguns materiais: o fundente (para ajuste de composição química), o aglomerante (que ajuda na formação da pelota e garante resistência no manuseio da pelota crua) e os combustíveis sólidos (que permitem uma queima mais homogênea e contribuem para a redução no custo de processamento, uma vez que é uma forma de energia mais barata). São os ingredientes finais dessa grande massa, que vai resultar em “pequenas bolinhas”, as famosas e “cobiçadas” pelotas, que depois se transformarão em ferro primário (ferro-gusa ou ferro-esponja). Após a adição desses elementos, todos os componentes seguem para um misturador. Somente então a mistura vai para o disco (ou tambor) de pelotização para a produção das pelotas cruas, também chamadas de “pelotas verdes”.

Minério com umidade ajustada e “quimicamente equilibrado” – hora de dar forma às pelotas. O objetivo é juntar as partículas para formar um produto esférico. As pequenas bolas de minério devem ter o tamanho adequado para uso no alto-forno ou no Reator de Redução Direta. Elas não podem ser tão pequenas a ponto de impedir a passagem do gás dentro do reator e nem tão grandes que possam dificultar a redução a ferro.



Virador de vagões em Tubarão



Moinho



Vista de um disco de Pelotização

Ao sair do disco ou do tambor, as pelotas seguem para um forno – semelhante ao da sinterização – para serem “queimadas”. No interior do forno, o aquecimento acontece gradativamente, até alcançar uma temperatura de 1.350 °C, o que garante a consolidação das partículas. A queima tem a função de proporcionar alta resistência mecânica às pelotas. Depois de queimada, uma pelota pode resistir a cargas maiores de 300 kg.

O peneiramento é a última fase do processo, para fazer os ajustes finais na granulometria das pelotas. Daí em diante é seguir, quase sempre por correia transportadora, para o pátio do porto e embarcar para o cliente. Em Vitória, foi concluída a instalação de uma correia transportadora para enviar pelotas diretamente para a ArcelorMittal Tubarão.



Grelha de um forno de pelotização (No detalhe, uma câmara de combustão)



Correia transportadora de minério – Complexo de Tubarão

Conheça os principais componentes químicos usados na formação das pelotas.

FUNDENTES:

Calcário calcítico, calcário dolomítico.

AGLOMERANTES:

Bentonita, cal hidratada, aglomerante orgânico.

COMBUSTÍVEIS SÓLIDOS:

Antracito e coque de petróleo.

Veja o passo a passo do processo de queima das pelotas cruas dentro do forno.

1º PASSO: Secagem

- » Temperatura (Secagem Ascendente): 25 a 200 °C
- » Temperatura (Secagem descendente): 200 a 600 °C
- » O que acontece: remoção parcial da água

2º PASSO: Pré-Queima

- » Temperatura: 600 a 1350 °C
- » O que acontece: remoção da água de cristalização

3º PASSO: Queima

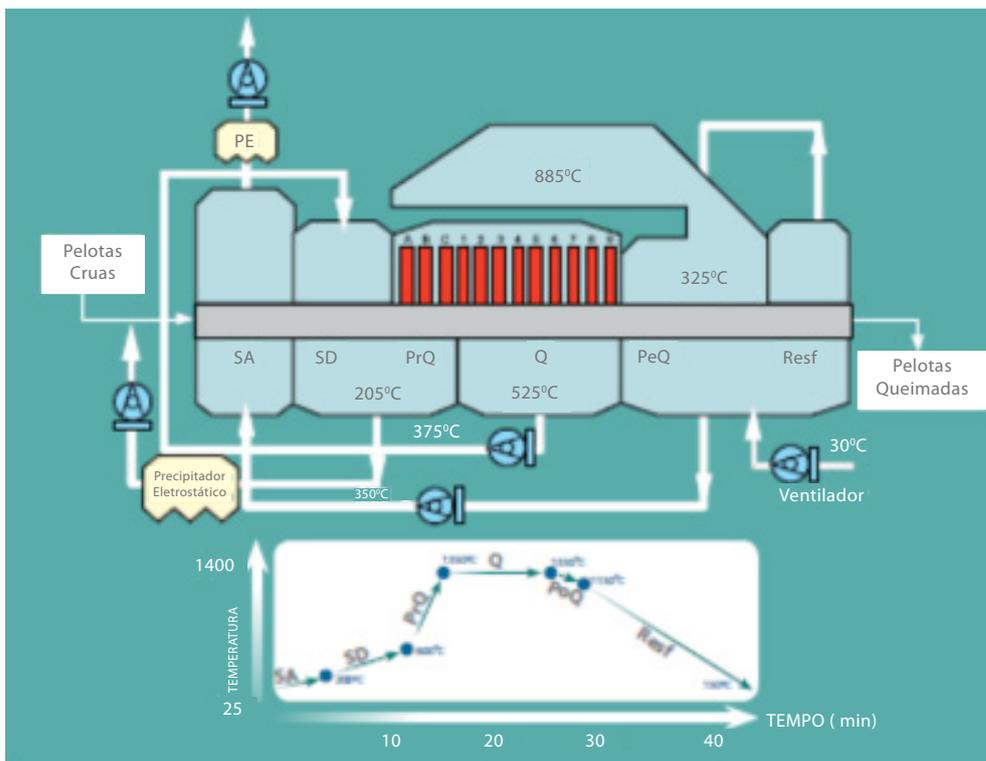
- » Temperatura: 1350 a 1350 °C
- » O que acontece: consolidação das reações entre ferro e escória

4º PASSO: Pós-Queima

- » Temperatura: 1350 a 1150°C
- » O que acontece: homogeneização de calor

5º PASSO: Resfriamento

- » Temperatura: 1150 a 150°C
- » O que acontece: recuperação de calor



SA » Secagem Ascendente

Q » Queima

SD » Secagem Descendente

PoQ » Pós-Queima

PrQ » Pré-Queima

Resf » Resfriamento

O ar utilizado para resfriar as pellets é retirado da atmosfera, soprado através do leito de pellets queimadas, quando é aquecido, e posteriormente reaproveitado nas etapas de secagem e queima do forno, possibilitando a redução do consumo de energia do processo.

Os principais tipos de pelotas

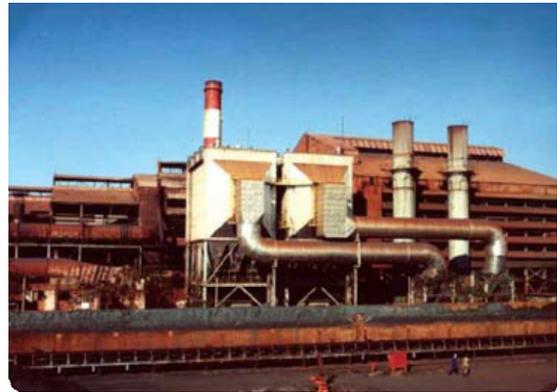
São duas as famílias de pelotas: a chamada “pelota de alto-forno” (PAF) que, como o próprio nome diz, é utilizada nesse reator para a produção de ferro-gusa; e a pelota de redução direta (PRD), utilizada nesse reator para a produção de ferro-esponja. A PAF típica produzida em Tubarão é a AF08, e a PRD é a RM15. Veja abaixo a composição química delas. A principal diferença é o teor de ferro ou, vindo de outra forma, o teor de impurezas. As PRDs são sempre mais ricas e, por isso, têm um prêmio no seu preço, negociado a cada ano.

TIPO DE PELOTA	AF08	RM15
FE	65,90	67,85
SiO ₂	2,35	1,20
Al ₂ O ₃	0,55	0,50
CAO	2,60	0,70
MGO	0,05	0,30
P	0,028	0,025
S	0,003	0,002
MN	0,08	0,12
CaO/SiO ₂	1,10	0,58

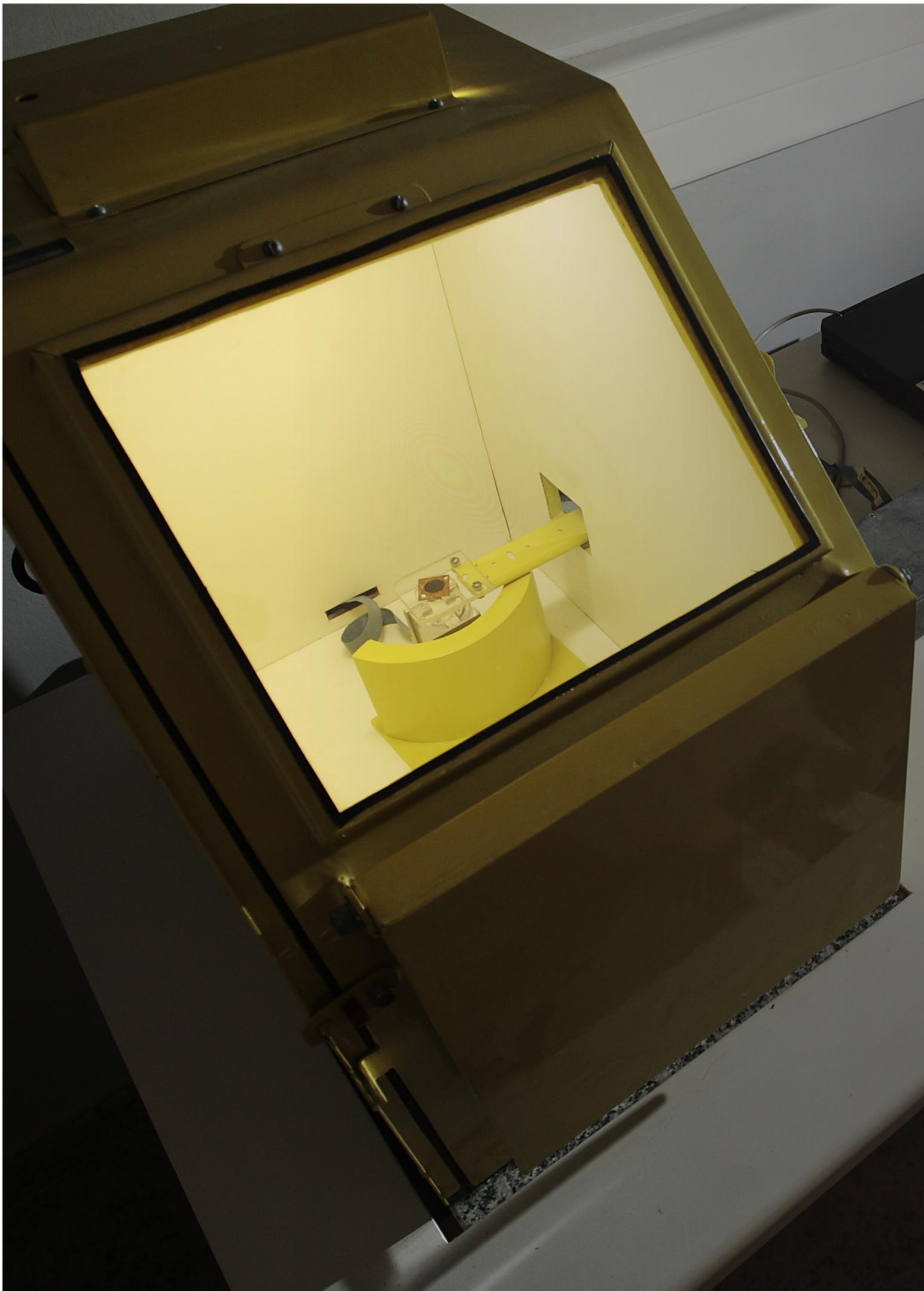
Indicadores-chave de desempenho na Pelotização

Você descobriu que em cada etapa da cadeia produtiva de minério há determinados equipamentos que possuem indicadores-chave de desempenho. No caso de uma usina de pelotização, o forno de queima é um dos ativos mais importantes e caros, e sua operação é a que mais impacta nos custos. A eficiência de sua operação é medida pelo indicador-chave de desempenho, chamado de “produtividade de grelha” (lembre-se de que o forno tem uma grelha onde são colocadas as pelotas cruas).

A produtividade de grelha é obtida pela razão entre a produção diária de pelotas e a área da grelha (a unidade é toneladas por metro quadrado ao dia – t/m²/dia). O motivo de se dividir pela área é para se comparar produtividade de fornos de tamanhos diferentes. O forno da Usina IV é o “benchmarking” na Vale e atinge produtividade da ordem de 30 t/m²/dia.



forno de queima



A person wearing a white lab coat is seated at a desk in a laboratory, working on a laptop. The laptop screen displays a graph or data visualization. In the background, there is a piece of laboratory equipment on a counter. The overall scene is dimly lit, with the primary light source coming from the laptop screen.

Ensaio
utilizados para
a avaliação
de minérios
de ferro

Ensaio utilizados para a avaliação de minérios de ferro

Como você acompanhou ao longo deste módulo, minérios e aglomerados que se degradam gerando partículas finas, seja no manuseio, seja quando processados, costumam não ser tão atraentes para o mercado siderúrgico. Ao fechar contrato com a Vale, os clientes querem ter garantias de que o minério produzido pela Companhia tenha determinado comportamento. Isto é "traduzido" na especificação de compra/ fornecimento que determina quais os requisitos (químicos, físicos e metalúrgicos) o produto deverá ter. A avaliação dos produtos é feita por meio de ensaios padronizados feitos em laboratório.

Há basicamente três mecanismos de geração de finos:

Manuseio:

corresponde à geração de finos devido ao empilhamento, recuperação, carregamento dos navios/ caminhões e descarga no cliente.

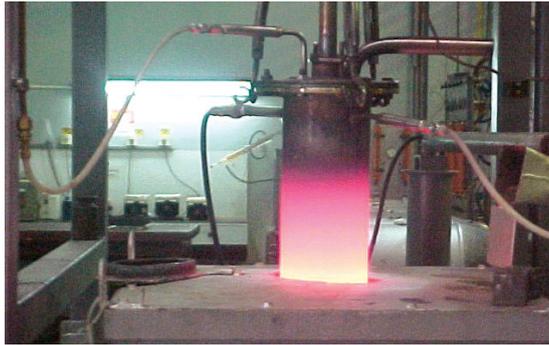
Degradação por temperatura:

choque térmico causado pela etapa de queima no forno de pelotização.

Degradação por reação química:

corresponde à geração de finos causada pela reação de redução do óxido de ferro (hematita – magnetita – wustita e ferro metálico) e também ao atrito entre pelotas dentro do forno do cliente.





Forno utilizado para ensaios metalúrgicos

Um cliente pode, por exemplo, exigir em contrato a entrega de um granulado com, no máximo, 5% com granulometria abaixo de 6,3mm. Caso a Vale ultrapasse esse percentual, o cliente pode requerer ressarcimento por meio da reposição em produto ou até mesmo multa em dinheiro. Conheça abaixo os três principais ensaios para avaliar a propensão à geração de finos.

Tamboramento

Esse ensaio avalia a tendência do material a gerar finos devido ao manuseio. O ensaio de tamboramento é padronizado internacionalmente pela ISO (International Standardization Organization). Uma amostra do material é colocada no interior de um tambor de dimensões padronizadas e submetida a um determinado esforço mecânico. Posteriormente, a amostra é retirada e a fração de finos gerada é quantificada através de um peneiramento. O índice de tamboramento é determinado pela fração acima de 6,3 mm. Quanto maior for este índice menos se degrada o minério.

Crepitação

O objetivo deste ensaio de laboratório, também padronizado pela norma ISO, é avaliar a geração de material fino devido a um choque térmico. O minério vai para um forno elétrico, previamente aquecido à 700° C, e permanece durante 30 minutos. Em seguida, faz-se o peneiramento: o índice de tamboramento mede a quantidade de finos gerados abaixo de 6,3 mm. Quanto maior é este índice mais o minério crepita.

Degradação sob Redução (RDI – *Reduction Degradation Index*)

Este ensaio, também padronizado pela ISO, tem como objetivo avaliar a quantidade de finos gerados por ação química do gás. O minério é colocado num reator no qual ele será reduzido a 550 °C durante 30 minutos. Depois, a amostra é retirada e levada para um tambor que dará 900 voltas. Em seguida, a amostra é peneirada. Verifica-se, então, o quanto de material fino foi gerado. O indicador é dado pelo percentual de material que estiver com um tamanho abaixo de 2,8 mm. Quanto maior este índice mais o material se degrada devido à redução.



Classificação de minérios de ferro



Classificação de minérios de ferro

Os processos de beneficiamento, pelletização, sinterização e redução de minérios, todos de elevado interesse para a Vale, apresentam em comum o fato de processarem o minério (fino, granulado ou aglomerado) no estado sólido. Ou seja, todos os procedimentos trabalham com um corpo com microestrutura e composição definidos, visando sua transformação em um novo produto.

Características do minério:

Intrínsecas ao minério. São os valores que descrevem a “constituição e a estrutura” do minério, como composição química, constituição mineralógica, microestrutura das partículas e tamanho ou distribuição granulométrica de suas partículas.

Parâmetros do processo:

Extrínsecas ao minério. São as características do meio ou dos agentes que estão atuando sobre o minério, como temperatura, pressão, vazão, viscosidade e densidade, entre outros parâmetros.

Gênese dos minérios de ferro

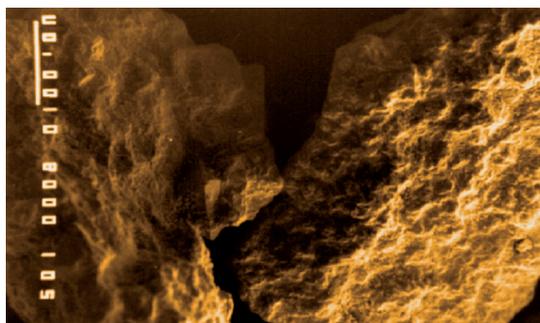
As características de um minério são determinadas por sua gênese, que é a forma como o minério foi formado na natureza. Desde o surgimento do nosso planeta, a crosta terrestre vem se desenvolvendo e modificando de modo dinâmico e contínuo. Num período muito especial desta evolução foram depositadas as maiores concentrações ferríferas do planeta que passaram, desde então, por uma longa história de transformações.

Se, durante o curso de sua história geológica, o depósito foi submetido a temperaturas e pressões cada vez mais elevadas, além da ação de fluidos quentes que provocaram o crescimento e orientação dos cristais, ele é denominado de metamórfico e apresenta cristais maiores e compactos e pouco hidratados. Se foi exposto às intempéries dos diferentes ambientes climáticos do planeta, sofreu hidratação e lixiviação em diferentes intensidades, é chamado de supergênico e apresenta cristais menores e mais hidratados. Todos estes processos além de modificar a microestrutura, podem levar ao enriquecimento ou à contaminação química do minério.

Veja no quadro, as microestruturas dos minérios supergênicos e metamórficos e suas principais características e os impactos em alguns processos da Pelotização:

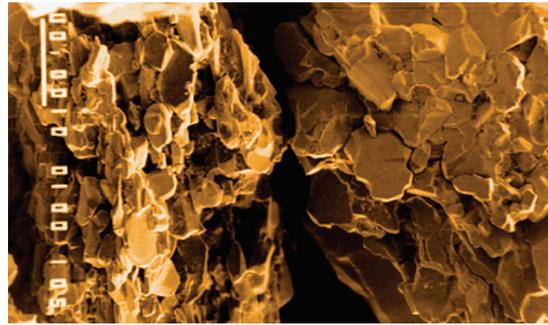
Supergênicos

- » Minérios porosos
- » Coloração marrom
- » Cristais: 10 a 40 µm (finos)
- » Muito hidratados
- » Altos teores de deletérios
- » Alta redutibilidade
- » Alta moabilidade
- » Difícil filtragem



Metamórficos

- » Minérios compactos
- » Coloração azulada
- » Cristais: 40 a 120 μm (médio a grosso)
- » Pouco hidratados
- » Baixos teores de deletérios
- » Baixa redutibilidade
- » Baixa moabilidade
- » Fácil filtragem



Uma das grandes vantagens da Vale é que a Empresa é a única no mercado mundial a oferecer minérios de gêneses diferentes: os metamórficos, encontrados no Sistema Sul, e os supergênicos, extraídos de Carajás. Essa variedade garante à Vale uma vantagem competitiva em relação aos seus concorrentes.





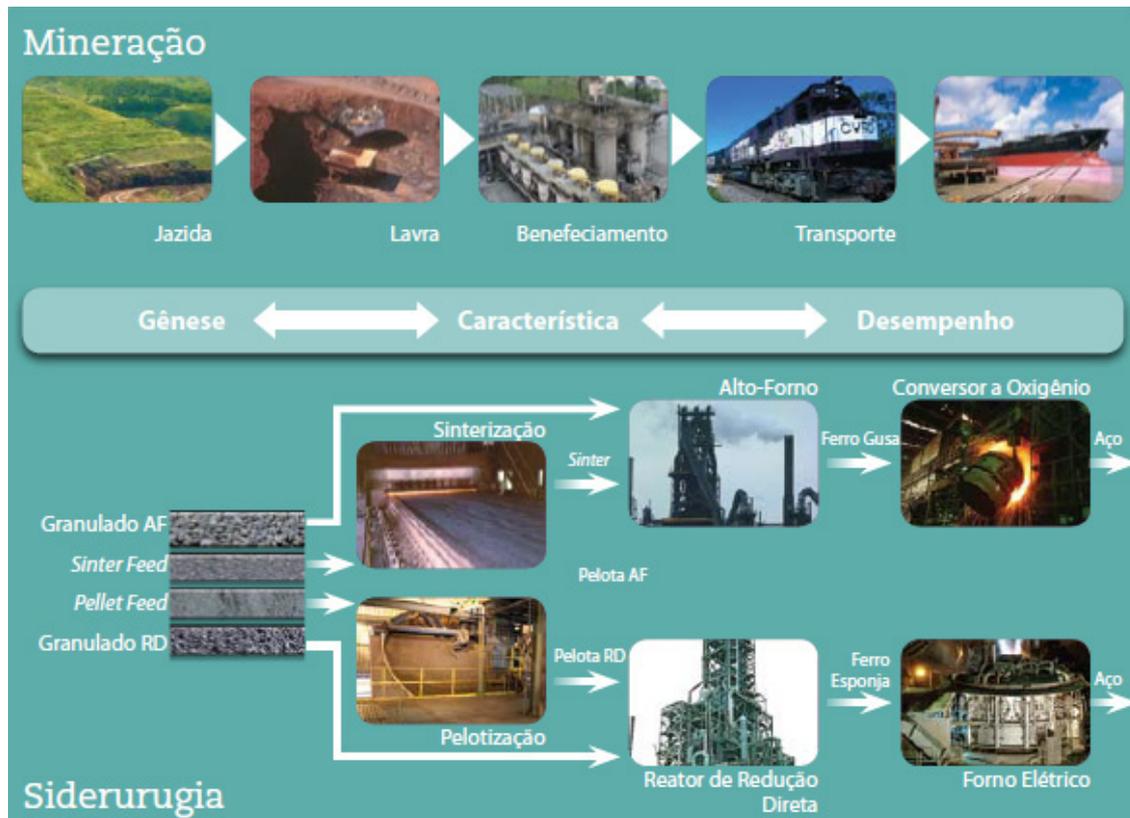
Sistema Vale de caracterização de minérios



Sistema Vale de caracterização de minérios

A engenharia de materiais sempre busca encontrar correlações entre características versus comportamento dos materiais. Comportamento diz respeito a como o minério “responde” às solicitações (químicas, mecânicas, térmicas, etc.) impostas a ele pelas condições dos procedimentos. Estas correlações têm sido importantes para aprofundar o conhecimento e, assim, ganhar eficácia no desenvolvimento, execução, controle e automação dos processos.

Sendo o minério um material, tal abordagem (características x comportamento) também tem sido bastante utilizada em seus processos de mineração, beneficiamento e utilização na siderurgia. E de uma forma ainda mais abrangente, pois correlaciona o comportamento dos minérios não só com suas características, mas também com sua gênese.



Esquema da abordagem Gênese X Característica X Desempenho usada na cadeia produtiva da Vale e de seus clientes

A Vale já enxergava a importância da caracterização dos minérios de ferro desde a segunda metade dos anos 1960. Naquela época, foram realizados estudos em duas vertentes: para atender a primeira usina de pelotização, inaugurada em 1968, e na pesquisa que resultou no processo para concentração do itabirito de Cauê e Conceição, cuja usina foi inaugurada em 1973. Todavia, conhecer “características dos minérios” nessa época significava apenas saber sua composição química, distribuição granulométrica e seus efeitos nos processos e na qualidade dos produtos. A caracterização mais completa de *sinter feeds*, *pellet feeds* e pelotas (envolvendo mineralogia, microestrutura ou textura) teve início apenas no começo da década de 1980, por duas razões principalmente:

- » A segunda grande crise do petróleo (grande aumento de preços em 1979) levou toda a indústria a ter que conhecer mais profundamente seu processo para reduzir drasticamente seu consumo de energia.
- » Aumento da diversificação de tipos de minérios da Vale, tanto pela entrada em operação da mina de Capanema na segunda metade dos anos 1970, quanto pela pesquisa geológica mais intensa em Carajás e Timbopeba.

A experiência adquirida pela Vale nesta área, voltada principalmente para avaliação de minérios para sinterização/alto-forno, principal produto da Empresa, levou ao que se pode denominar “Sistema Vale de caracterização de minérios para sinterização” que, com o tempo, passou a ser utilizado, no todo ou em parte, pelas áreas de produção e comercialização da Companhia.

A importância da caracterização do *sinter feed*

Veja abaixo como as características influenciam no processo de sinterização e na qualidade do produto: o *sínter*.

Densidade e porosidade

Na sinterização, a densidade a granel é uma importante informação para se avaliar a “empacotabilidade” dos minérios na máquina, a permeabilidade e o rendimento do *sínter*. No quesito porosidade, quanto mais poroso for o minério, mais rápida será a sua reação no processo de sinterização.

Composição química

A composição química (impurezas e teor de ferro) é utilizada para fazer o balanço de massa, para cálculo de carga na sinterização e para se prever o efeito da composição química do minério na qualidade química e metalúrgica do *sínter* e, conseqüentemente, na qualidade do ferro-gusa e no volume e composição da escória do alto-forno.

Distribuição granulométrica

A distribuição granulométrica impacta fortemente a permeabilidade, a produtividade e o consumo de combustível da sinterização.

Composição mineralógica e microestrutura (ou textura)

Veja abaixo os principais fatores que permitem avaliar o efeito do minério nos índices operacionais da sinterização (produtividade e consumo de combustível) e nos diversos índices de qualidade do *sínter* produzido:

- » os minerais de ferro e da ganga que constituem o minério;
- » a distribuição do ferro, sílica, alumina e água combinada nos minerais presentes;
- » o percentual de quartzo livre;
- » a morfologia dos óxidos e hidróxidos de ferro;
- » o tamanho médio dos cristais dos minerais de ferro e do quartzo.

O Modelo Vale

Provavelmente, o mais importante fruto da pesquisa da Vale na área de sinterização foi o desenvolvimento do chamado Modelo Vale, que procura relacionar a gênese, a característica e o comportamento de minérios na sinterização. Esse modelo tem sido bastante usado pelas missões técnicas e apresentado em congressos e similares. Por aliar forte base científica com facilidade de uso, tem sido reconhecido como contribuição de âmbito mundial, tanto para o aprimoramento do estado da arte quanto para a prática de seleção de minérios para sinterização e alto-forno. O Modelo Vale foi desenvolvido para responder à seguinte questão básica: uma vez que cada minério possui um grande número de características, quais delas mais influenciam cada um dos índices operacionais e de qualidade da sinterização? Para obter a resposta, foi necessário aprimorar, cada vez mais, os métodos de caracterização e de ensaio em sinterização piloto, feitos nos próprios laboratórios da Vale, além de manter permanentes discussões com o pessoal técnico das usinas de sinterização e alto-forno.

Foi constatado que o tamanho do cristal era a mais básica das características que influenciavam o desempenho da sinterização. Dos principais minérios para sinterização comercializados no mercado transoceânico, ainda na primeira metade da década de 1980, verificou-se que os brasileiros eram hematíticos em sua quase totalidade e possuíam cristais que variavam de pequenos a médios (na época, o minério de Carajás não havia ainda sido introduzido no

mercado), além de serem pouco hidratados. Enquanto isso, os minérios oriundos da Austrália eram predominantemente constituídos de cristais bem pequenos, e os do Canadá de cristais bem grandes, quase anidros. Daí veio a primeira classificação geral de minérios feita na Vale, que tomou por base as iniciais A, B e C (Austrália, Brasil e Canadá) para classificar os minérios do mercado em três grandes grupos ou tipos:

A – minérios de cristais muito pequenos, hidratados;

B – minérios de cristais de pequenos a médios, pouco hidratados;

C – minérios de cristais bem grandes, muito pouco hidratados.

Quando o minério de Carajás foi introduzido no mercado, passou a integrar os minérios do Grupo A, por apresentar cristal muito pequeno, assemelhando-se (em termos de microestrutura) aos australianos. Mais tarde, os minérios dos Grupos A e B foram divididos em subgrupos, uma vez que entre os minérios do Grupo A havia uma grande variação do percentual de água combinada: de 1,5% a 10% (esta característica também influencia fortemente o comportamento do minério). Já no caso dos minérios do Grupo B, a grande variação era de seu tamanho médio de cristal: de 35 a 100 μm .



Sinterização piloto da Vale



Esta classificação, que se manteve até o ano 2000, é mostrada na figura a seguir. Na primeira coluna estão os Grupos ou Tipos de minérios, divididos em função do tamanho médio de cristal dos minérios; na segunda os subgrupos ou subtipos, de A1 a A4, em função da sua percentagem de perda ao fogo (água combinada) e de B1 a B3, em função do tamanho de cristal; na terceira coluna são mostradas as principais minas ou províncias minerais produtoras dos minérios de cada subgrupo.

Grupo	Subgrupo	Tam. Médio Cristal (µm)	Perda ao Fogo (%)	Minérios Típicos
A Cristal Fino	A1*	<25	1,5	Brasil
	A2	<35	3,0	Austrália
	A3	?	6,0	Austrália/M. Mamba
	A4	<15	9,0	Austrália
B Cristal Médio	B1	35 a 50	1,0	Quadrilátero Ferrífero MG
	B2	50 a 60		
	B3**	60 a 100		
C Cristal Grosso	C	>100	1,0	Canadá

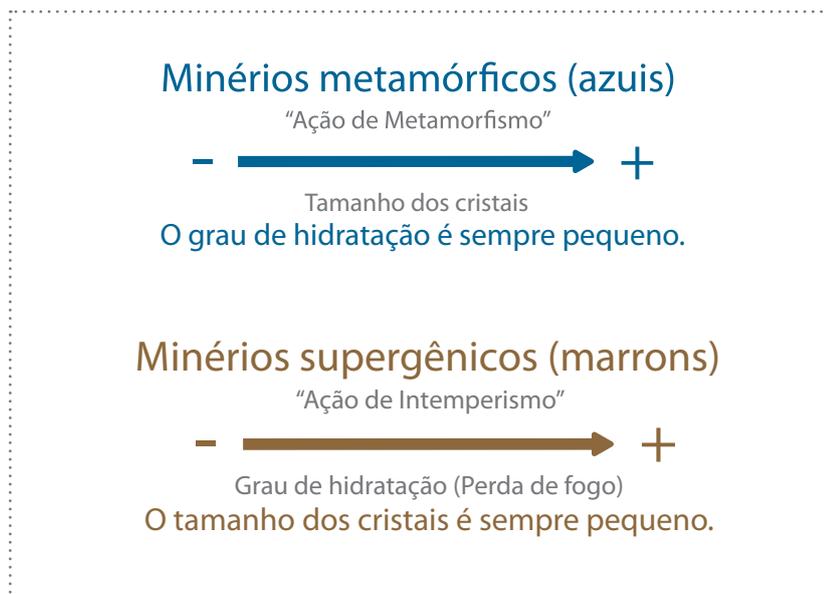
* Finos Carajás

** Finos Sistema Sul

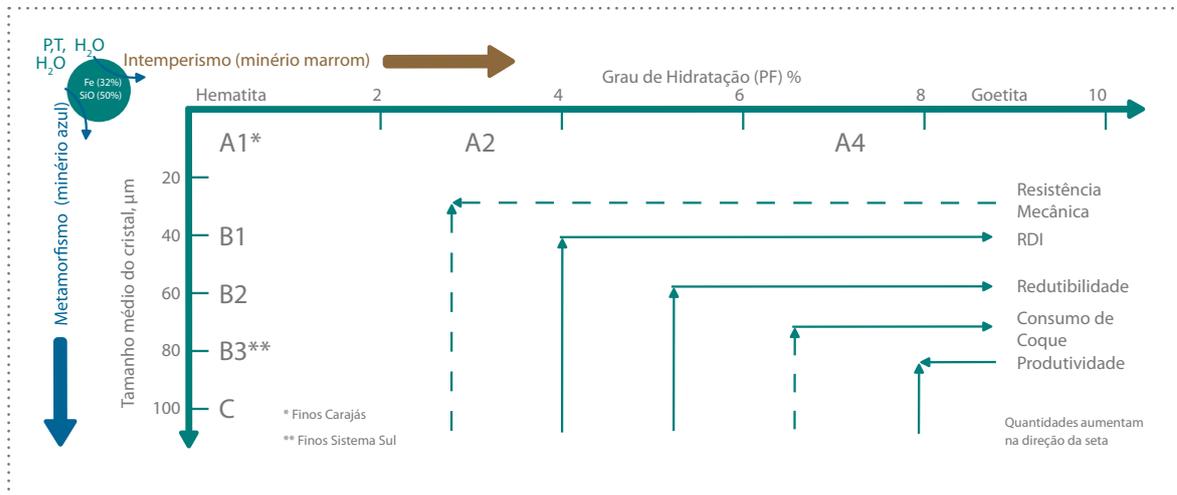
Como as características dos minérios influenciam o processo de sinterização

Como vimos, as características de um minério são determinadas por sua gênese. Em função dela, os minérios de ferro podem ser classificados em dois tipos: metamórficos e supergênicos. De uma maneira geral, podemos dizer que a característica marcante dos minérios metamórficos é o seu tamanho de cristal, que é função do grau de metamorfismo ocorrido na sua gênese. Quanto maior o metamorfismo, maior o tamanho de cristal. Nestes minérios, o grau de hidratação é sempre baixo.

Semelhantemente, a característica marcante dos minérios supergênicos é o grau de hidratação, que é função da intensidade do intemperismo ocorrido na sua gênese. Quanto maior o intemperismo maior o grau de hidratação. Minérios supergênicos têm sempre tamanho de cristal pequeno.



A partir deste entendimento, o passo seguinte foi construir o diagrama abaixo, denominado Modelo de Tendências, para facilitar o entendimento da influência da gênese e das características do minério no processo de sinterização. Confira:



O eixo vertical está associado com o tamanho de cristal: externamente ao eixo, mostra-se que o tamanho de cristal cresce quanto maior o grau de metamorfismo do minério; internamente, estão colocados os tipos de minérios, conforme quadro anterior.

O eixo horizontal está associado ao grau de hidratação (perda ao fogo) dos minérios: externamente ao eixo, mostra-se que o teor de água combinada (água que está na estrutura do minério) aumenta quanto maior o intemperismo.

Na área central do diagrama aparecem as “setas de tendências de comportamento”. Ou seja, cada seta indica qual seria a tendência de variação esperada para determinado índice de comportamento. Por exemplo: caso houvesse a substituição de um minério com baixo grau de hidratação por outro com alto grau de hidratação, haveria um conseqüente aumento no consumo de coque na sinterização. É importante chamar a atenção para dois aspectos:

- » As setas indicam caráter probabilístico, e não determinístico.
- » As setas não indicam sentido “melhor ou pior”, mas apenas sentido de crescimento do índice de comportamento, o que pode ser bom ou ruim dependendo da natureza do índice. Por exemplo, crescimento de resistência e redutibilidade do sinter são bons. Já crescimento de consumo de combustível na sinterização e do RDI do sinter é ruim.



O Modelo Vale 2002

O modelo anterior foi bastante difundido dentro e fora da Vale, em especial ao longo da década de 1990. No entanto, em 2002 diversos fatores levaram à revisão do modelo. Isso ocorreu em função da necessidade de incorporar ao modelo as características e o comportamento dos minérios pisolíticos australianos (mistura de goethita e hematita) que entraram no mercado em 1993, e de facilitar seu entendimento pelas pessoas envolvidas no processo de produção e comercialização do minério de ferro. Os aprimoramentos feitos foram:

- » O minério pisolítico foi catalogado como um novo subtipo (A5), por possuir características e comportamento diferentes dos demais minérios.
- » O modelo Vale de tendências, versão 2002, passou a explicitar o impacto de três características/variáveis: tamanho de cristal, alumina e perda ao fogo (grau de hidratação).

O modelo Vale tem sido metódica e eficientemente utilizado pelo pessoal de *marketing* e de assistência técnica da Diretoria Comercial e, nos últimos anos, também pelos escritórios comerciais da Vale no exterior. É considerado uma das ferramentas para abrir e manter um canal de comunicação técnica com os clientes, em paralelo ao canal comercial.

Modelo de avaliação da competitividade



Programa 5S

Etapa	Execução
1. Criar comitê de implantação	P
2. Elaborar campanha de comunicação	R
3. Treinar facilitadores	P
4. Treinar auditores	R
5. Mapear postos	P
6. Avaliar a situação atual	R
7. Implementar o 1º S - Senso de Organização	P
8. Implementar o 2º S - Senso de Ordenação	R
9. Implementar o 3º S - Senso de Limpeza	P
10. Implementar o 4º S - Senso de Disposição - após as mudanças	R
11. Avaliar os postos de trabalho	P
12. Avaliar os resultados	R
13. Avaliar os resultados	P
14. Avaliar os resultados	R

Modelo de avaliação da competitividade

A seleção de minérios para uso nas siderúrgicas não é tarefa das mais simples. A Nippon Steel, por exemplo, maior siderúrgica do Japão, avalia a qualidade química dos minérios (teor de ferro e impurezas, principalmente sílica, fósforo e alumina), bem como a qualidade física e metalúrgica, usando ensaios e caracterizações que você conhece neste módulo. A empresa avalia ainda o impacto do minério em seus processos produtivos e no meio ambiente. Além disso, são considerados aspectos de logística (distância, portos, navios etc.), preço, é claro, e questões estratégicas como a capacidade de uma mineradora abastecê-la em longo prazo com quantidade e qualidade.



Tela do software

Entendendo os critérios que o cliente usa para selecionar os minérios de que ele precisa para produzir com qualidade o seu aço, ao menor custo, a Vale desenvolveu um *software* que avalia a competitividade dos minérios aos olhos do comprador. Esse programa, denominado Modelo Siderúrgico, tem como dados de entrada as análises química e mineralógica dos minérios, preços, dados de mercado e outros dados estratégicos da empresa-alvo, além dos parâmetros de operação do cliente, como o tipo de equipamento usado, se alto-forno ou reator de redução direta.



O sistema possui um módulo de programação linear, no qual estão inseridos balanços de massas da sinterização, do alto-forno, da aciaria a oxigênio para a rota a coque e do reator de redução direta, e da aciaria elétrica para a rota de redução direta. O Modelo Siderúrgico permite selecionar a carga metálica ótima e avaliar técnica e economicamente a competitividade de um produto ou de um mix de produtos em um determinado mercado ou cliente. Permite, ainda, ser usado como um simulador para suporte ao desenvolvimento de produtos e de estratégias de comercialização.



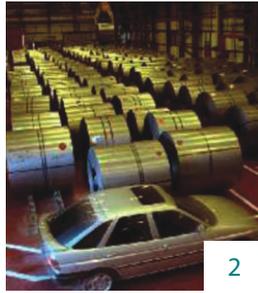
Atividades

Neste módulo, você conheceu o caminho percorrido pelo minério de ferro na produção do ferro-gusa e do ferro-esponja. Abaixo, você encontra figuras enumeradas para associar aos fluxogramas da Usina Integrada a Coque e da Usina Integrada a Redução Direta. Utilize as linhas azuis para nomear os componentes do alto-forno.



1

Construção civil



2

Produtos siderúrgicos



3

Coque



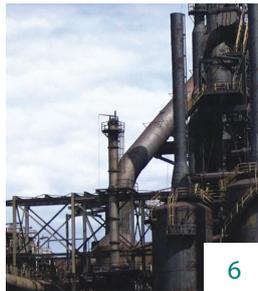
4

Lingotamento



5

Pelotização



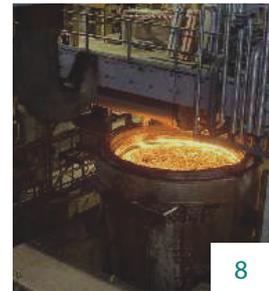
6

Reator redução direta



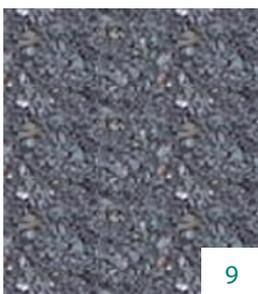
7

Aciação elétrica



8

Aço líquido



9

Sínter feed



10

Granulado AF



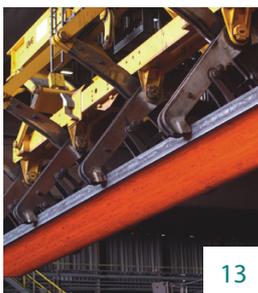
11

Carvão mineral



12

Sínter



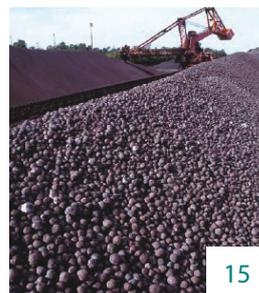
13

Placa



14

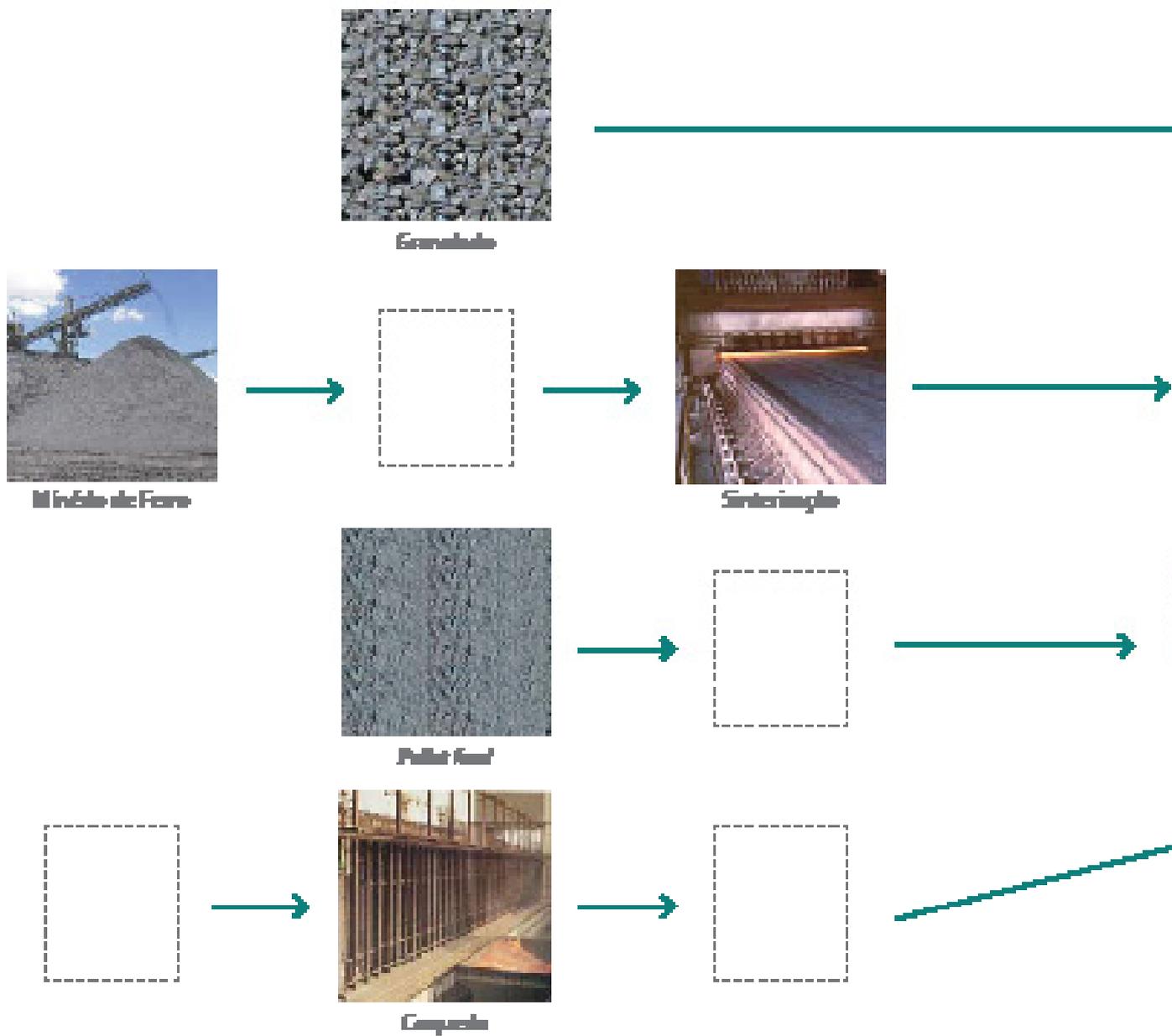
Vergalhões

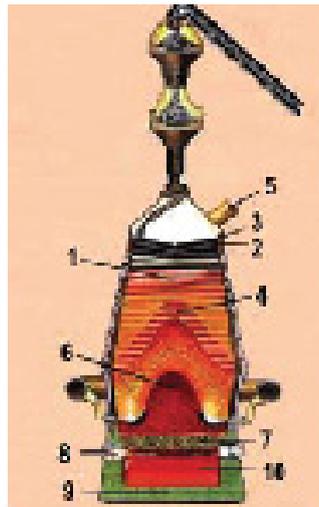


15

Pelota RD

1. Usina Integrada a Coque



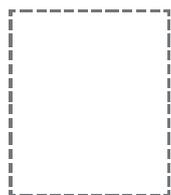
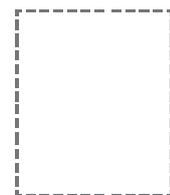
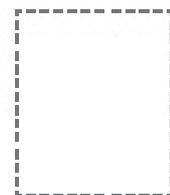


Alto-forno

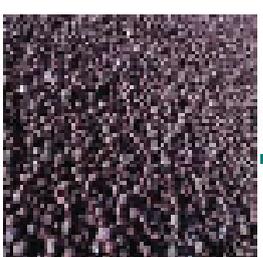
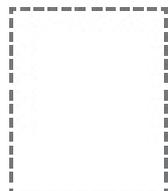
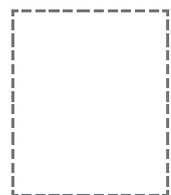
- 1 _____
- 2 _____
- 3 _____
- 4 _____
- 5 _____
- 6 _____
- 7 _____
- 8 _____
- 9 _____
- 10 _____



Conversor

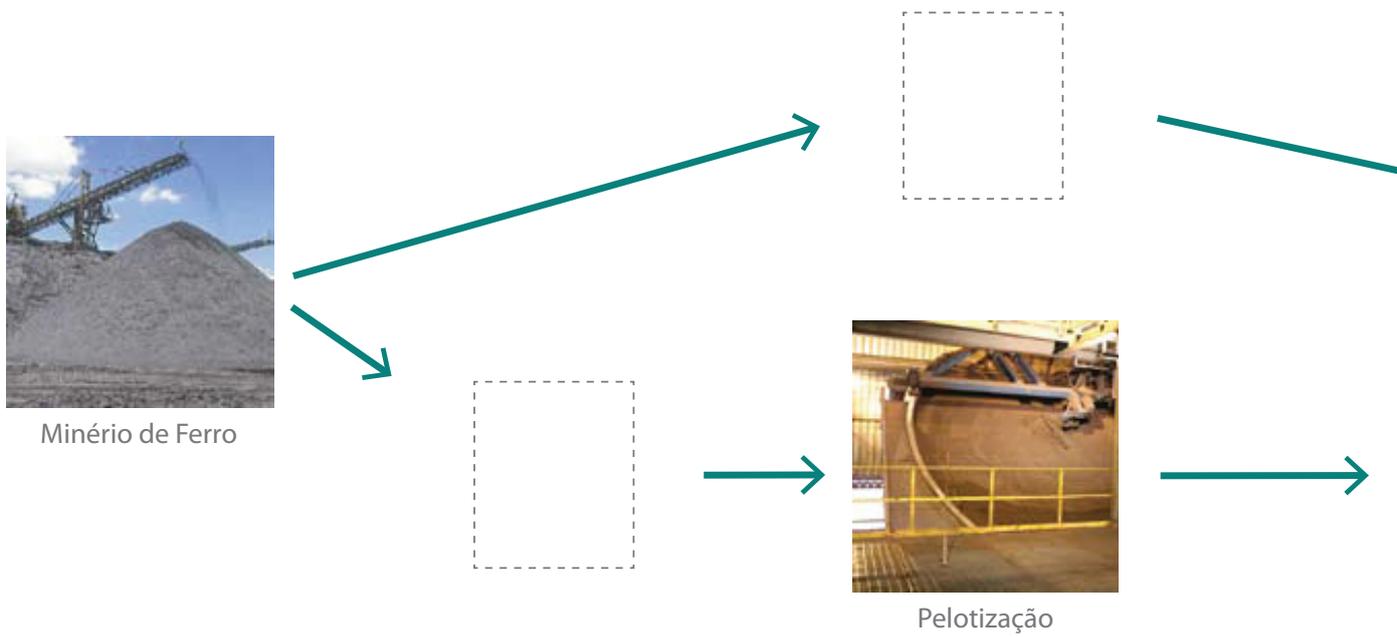


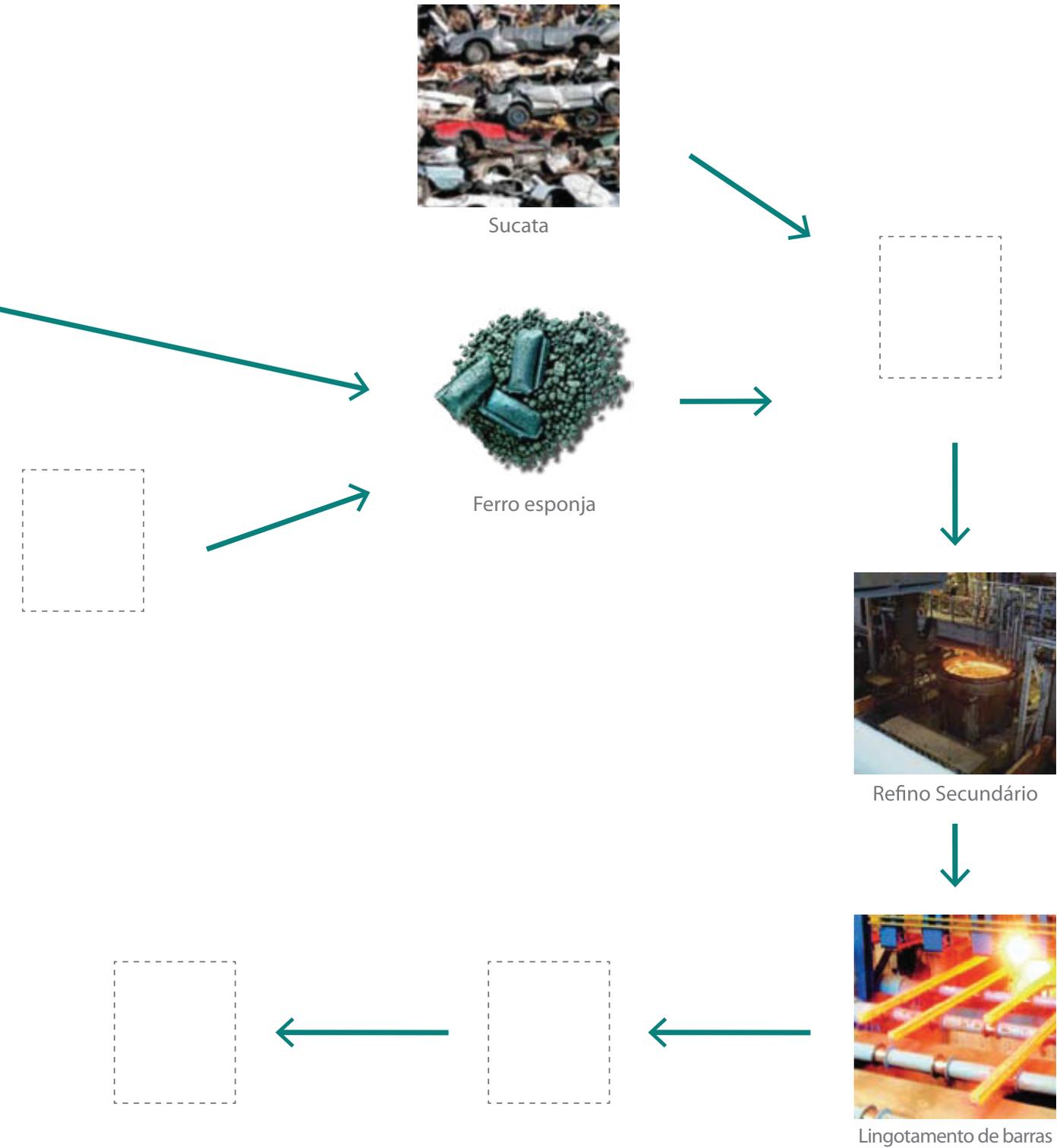
Conformação Mecânica



Pelotas AF

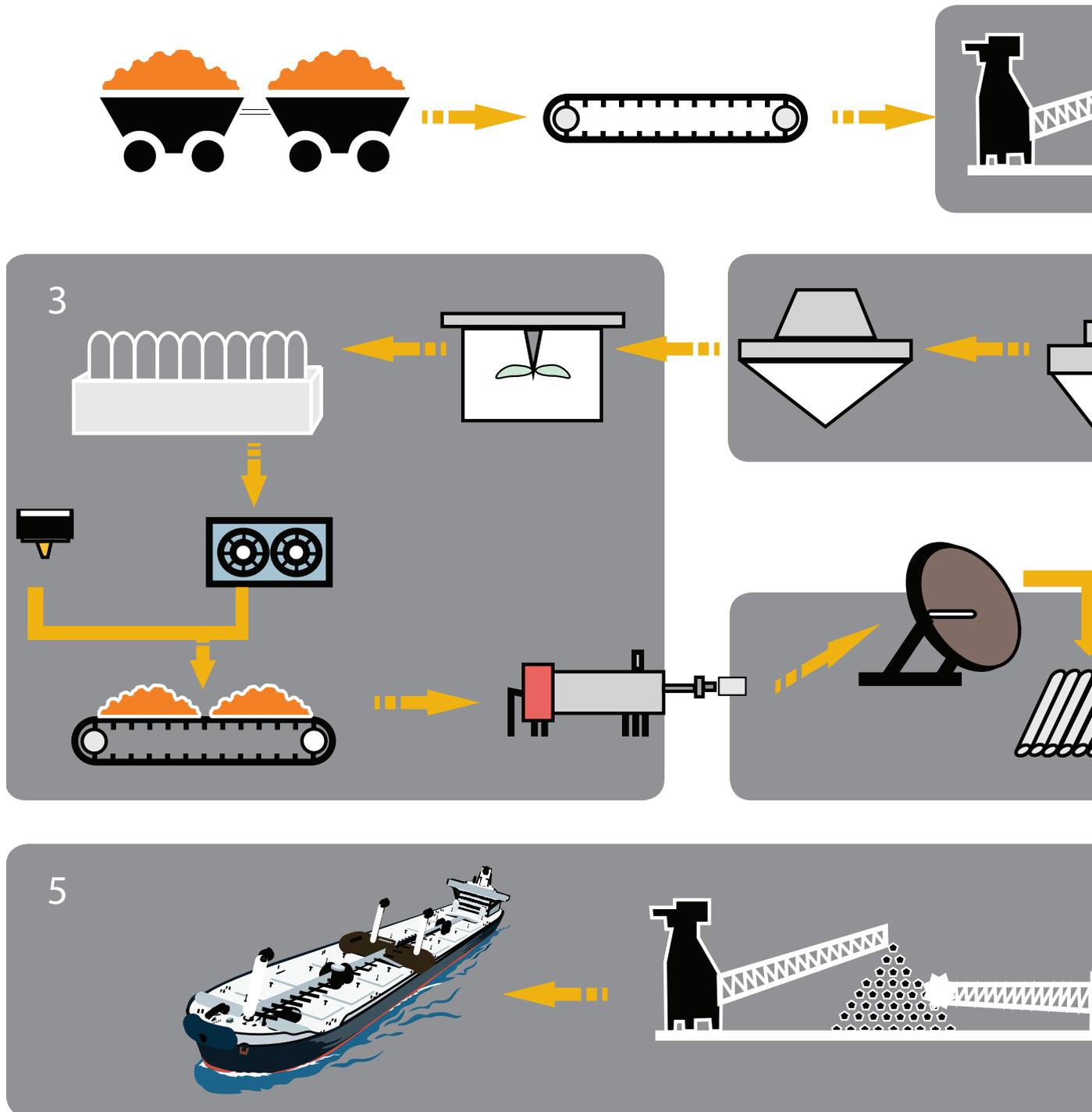
2. Usina Integrada a Redução Direta

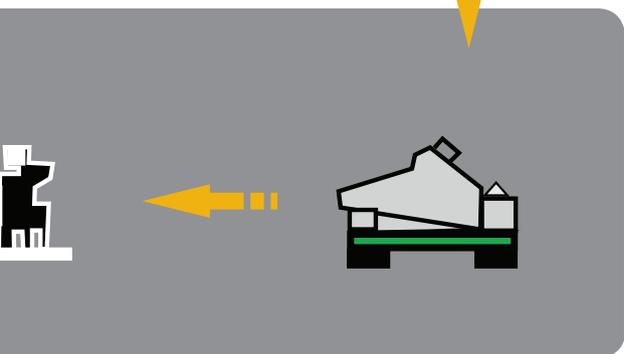
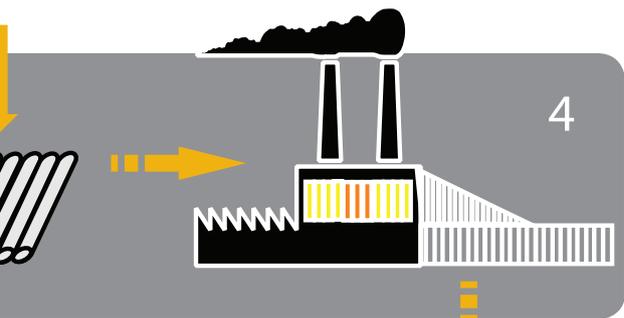
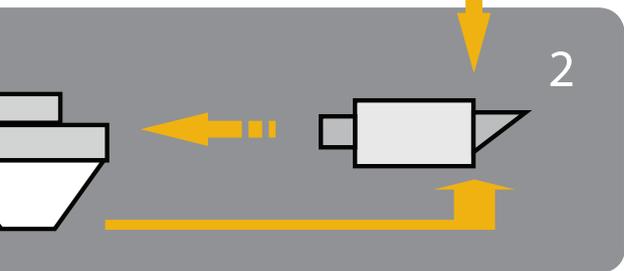
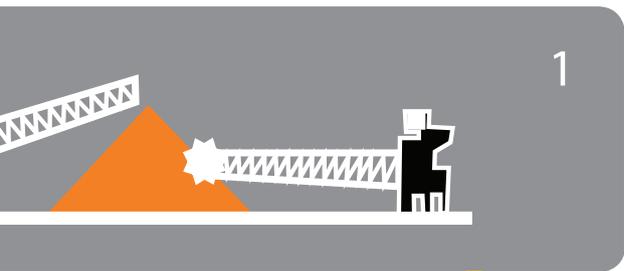




3. Fluxograma

Para a formação de pelotas com tamanho e resistência mecânica adequados à etapa de processo térmico, são necessários procedimentos elaborados, sujeitos a fatores críticos, essenciais para essa produção. No fluxograma do Processo de Pelotização abaixo, você encontrará linhas para nomear e descrever cada fase pela qual o minério passa, até que se transforme em pelotas.





1 _____

2 _____

3 _____

4 _____

5 _____

Glossário

Aglomerante

Material adicionado ao minério de ferro que melhora as características aglomerantes da mistura na etapa de formação da pelota crua, garantindo que esta tenha resistência física adequada no transporte até o forno de queima.

Alto-forno

Reator de seção circular variável, com alta relação altura/diâmetro, utilizado para a fabricação de ferro-gusa.

Alumina

Denominação do óxido de alumínio (Al_2O_3). É um contaminante do minério de ferro.

Coque

Produto sólido resultante da remoção dos componentes voláteis do carvão mineral, pelo seu aquecimento em ambiente isento de oxigênio.

Correia transportadora

Dispositivo constituído de uma esteira flexível, contínua, montada em estrutura, tracionada por meio de rolos, destinada ao transporte de granéis.

Disco de pelletização

Dispositivo constituído de um prato giratório inclinado, com o objetivo de aglomerar misturas úmidas de minério, formando as pelotas cruas.

Escória

Resíduo de um processo pirometalúrgico, cuja função é remover e estabilizar os diversos elementos que não devem estar presentes no metal. Na siderurgia, as escórias são misturas homogêneas (tipicamente de óxidos), resultantes da reação dos fundentes com os óxidos das impurezas eliminadas.

Espessante

Dispositivo de separação de sólidos de líquidos por sedimentação (decantação).

Forno de queima

Forno contínuo destinado à consolidação das pelotas cruas, mediante aquecimento.

Ferro-esponja

Ferro bruto produzido no estado sólido nos reatores de redução direta.

Ferro-gusa

Ferro bruto produzido no estado líquido nos altos-fornos.

Fundentes

Materiais adicionados à carga de altos-fornos, conversores, fornos elétricos etc. destinados a formar uma escória com habilidade de captar e reter as impurezas removidas do metal. Nos processos de aglomeração (sinterização e pelletização), os fundentes baixam o ponto de fusão da carga e auxiliam no processo de conferir resistência ao aglomerado.

Ganga

Minerais não aproveitáveis do minério.

Hidróxidos

Compostos constituídos de um metal (por exemplo, o ferro) ligado ao grupo hidroxila (OH). Nos minérios de ferro são as goethitas e limonitas.

Laminação

Processo de conformação plástica, mediante aplicação de esforços mecânicos via rolos, com o objetivo de obter uma forma geométrica específica e, também, conferir propriedades mecânicas adequadas.

Lingotamento contínuo

O lingotamento é a operação de verter o metal líquido em um molde no qual ele vai se solidificar, adquirindo a forma desse molde. No lingotamento contínuo, o processo ocorre com o metal em movimento.

Lingote

Metal ou liga sólidos, na forma do molde no qual ele foi vazado.

Oxidação

Reação de combinação de um elemento/composto com oxigênio ou outro oxidante.

Óxido

Composto constituído um elemento químico ligado ao oxigênio.

Pelota

Aglomerado produzido no processo de pelletização.

Pelletização

Processo de aglomeração de partículas mediante sua aglutinação com água e aglomerantes (pelotas cruas) e consolidação por aquecimento (pelotas queimadas).

Pirometalurgia

Subdivisão da metalurgia que trata dos processos conduzidos em temperaturas elevadas.

Precipitador eletrostático

Dispositivo para limpeza de gases, no qual as partículas de um fluxo gasoso recebem uma carga elétrica e são atraídas e coletadas em eletrodos.

Redução

Reação oposta à oxidação. Processo químico no qual um elemento passa de uma condição mais oxidada para outra, menos ou não oxidada (por exemplo, a passagem do ferro da condição de óxido para a de metal).

Redução direta

Processos de obtenção de ferro metálico mediante a redução dos seus óxidos, sem mudança de estado (sólido).

Refino

Processo de purificação de metais e ligas. Na siderurgia, é a etapa que promove a transformação do ferro-gusa em aço.

Refino secundário

Processo de purificação de metais e ligas fora do reator principal. Na siderurgia, são as várias operações feitas após o refino no conversor a oxigênio ou forno elétrico.

Reformador

Reator destinado a transformar o gás natural numa mistura de gases redutores constituídos por monóxido de carbono e hidrogênio.

Siderurgia

Ramo da metalurgia que estuda os processos de obtenção e refino do ferro e suas ligas.

Sílica

Denominação do óxido de silício (SiO_2). É um contaminante do minério de ferro.

Sínter

Aglomerado produzido no processo de sinterização.

Sinterização

Processo de aglomeração de partículas mediante aquecimento e soldagem por fusão.

Tambor de pelletização

Dispositivo constituído de um tambor giratório inclinado, com o objetivo de aglomerar misturas úmidas de minério, formando as pelotas cruas.

Ventaneiras

Bocais refrigerados, posicionados na parte inferior dos altos-fornos, por onde o ar quente é injetado no seu interior.

Agradecimentos

Agradecimento especial para os especialistas da Vale que se dedicaram e contribuíram para a CONSTRUÇÃO do material em 2007:

Coordenação Técnica Geral

Magid Wahib Saab

Coordenação Acadêmica Geral

Fernando Gabriel da Silva Araujo

Módulo I

Lilian Grabellos Barros de Moura

Paulo Henrique Matias

Módulo II

Antonio Claret Antunes Campos

Módulo III

Vania Lúcia de Lima Andrade

Módulo IV

Magid Wahib Saab

Módulo V

Arnaldo Soares da Silva

Fábio Costa Brasileiro da Silva

Módulo VI

Ana Cristina Correa da Silva

Edna Pereira Nunes

Francisco Palhares Pereira

Mario Leopoldo de Pino Neto

Agradecimento especial para os especialistas da Vale que se dedicaram e contribuíram para a ATUALIZAÇÃO do material em 2009:

Módulo I

Paulo Matias

Módulo II

Leonardo Graça

Charles Faria

Daniel Chausson

Jordan Marinho

Módulo III

Vania Lúcia de Lima Andrade

Módulo IV

Magid Wahib Saab

Módulo V

Arnaldo Soares da Silva

Fábio Costa Brasileiro da Silva

Fernando Mascarenhas

Francois Ferec (revisão)

Fabricio Salviato (revisão)

Módulo VI

Ana Cristina Correa da Silva

Edna Pereira Nunes

Francisco Palhares Pereira

Marcelo Macedo

Mario Leopoldo de Pino Neto

Agradecimento especial para os professores do DEPEC/Fundação Gorgeix que contribuíram para a ATUALIZAÇÃO do material em 2009:

Coordenação Acadêmica Geral

Fernando Gabriel da Silva Araujo

Módulo I

Prof. Marcos Tadeu de Freitas Suita, PhD

Prof. Messias Gilmar de Menezes, PhD

Módulo II

Prof. Wilson Trigueiro de Sousa, PhD

Módulo III

Prof. Marco Antônio Rodrigues Drummond, M.Sc

Módulo IV

Prof. Paulo Santos Assis, PhD

Prof. Paulo vonKrüger

Prof. Eloísio Queiroz Pena, M.Sc

Prof. Cláudio Batista Vieira, PhD

Prof. Fernando Gabriel da Silva Araújo, PhD

Módulo V

Prof. João Esmeraldo da Silva, PhD

Edimar Costa Westin, Eng.

Módulo VI

Prof. Hernani Mota de Lima, PhD

Prof. Valdir Costa e Silva, PhD

Prof. Jorge Luiz Brescia Murta, M.Sc.

Agradecimento especial para os especialistas da Vale que se dedicaram e contribuíram para a ATUALIZAÇÃO do material em 2012:

Módulo I

George Liu

Módulo II

Kioshi Kaneko

Leonardo Gravina

Daniel Chausson

Walter Mazon

Paulo Freitas

Charles Faria

Fleming Simões

Módulo III

Vania Lúcia de Lima Andrade

Marcus Alexandre Carvalho

Módulo IV

José Carlos Pontes

Austregésilo Guimarães

Washington Mafra

Hamilton Pimenta

Módulo V

Marcos Borjaille

Ricardo Penna

Daniel Marim

Junio Amorim

Módulo VI

Gabriel Ribeiro

Daniela Dolabela Corrêa

Saúde e Segurança

Leonardo Dias Pinto

Agradecimento especial para os professores da UFOP que contribuíram para a ATUALIZAÇÃO do material em 2012:

Coordenação Acadêmica Geral

Fernando Gabriel da Silva Araujo

Módulo I

Prof. Messias Gilmar de Menezes, PhD

Módulo II

Prof. Wilson Trigueiro de Sousa, PhD

Módulo III

Prof. Marco Antônio Rodrigues Drummond, PhD

Módulo IV

Prof. Eloísio Queiroz Pena, M.Sc

Módulo V

Prof. Edimar Costa Westin, Eng.

Módulo VI

Prof. Valdir Costa e Silva, PhD

Prof. José Fernando Miranda, M.Sc

Saúde e Segurança

Prof. Jefferson Mendes

